FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

5.0 GLAVNE (TEHNIČKE) KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

5.1 GLAVNE (TEHNIČKE) KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

Uvod

- Da bi mašina alatka u potpunosti izvršila postavljene zadatke mora da postoji određena usklađenost između mašine, alata i radnog predmeta.
- Tri glavna uslova koje svaka mašina alatka treba da ispuni su: **TAČNOST**, **PROIZVODNOST** I **EKONOMIČNOST.**
- Svaka mašina alatka je u potpunosti definisana svojim tehničkim karakteristikama
- Tehničke karakteristike su podaci kojima se definiše mašina alatka u smislu njene veličine, performansi (mogućnosti izvođenja procesa) i kvaliteta.
- Ove karakteristike se dele u tri grupe, prema oblasti kojoj pripadaju podaci:
  - ✓ Geometrijske karakteristike
  - ✓ Tehnološke karakteristike,
  - ✓ Eksploatacione karakteristike

5.1 GLAVNE (TEHNIČKE) KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

Uvod

- Pokazatelji kvaliteta mašine alatke se odnose na geometrijsku i kinematsku tačnost, statičko, dinamičko i toplotno ponašanje mašine alatke.
- Greške izrade elemenata mašine kao i greške sklapanja i montaže utiču na geometrijsku i kinematsku tačnost, a time i na radnu tačnost mašine alatke.
- Geometrijska tačnost predstavlja skup parametara koji pokazuju odstupanje od idealnog geometrijskog oblika elemenata mašine, odstupanja od nominalnog relativnog položaja pojedinih elemenata.
- Kinematskom greškom se naziva greška koja se javlja u pojedinim elementima kinematskog lanca mašine. Kinematska tačnost obuhvata i tačnost pozicioniranja kao i ponovljivosti pozicija izvršnih organa mašine alatke.
- Statičko, dinamičko i toplotno ponašanje su poremećaji koji su posledica procesa obrade. Presudnu ulogu igra statička i dinamička krutost kako elemenata tako i mašine alatke u celini.

Geometrijske karakteristike mašine alatke

Gabaritne dimenzije mašine;

- gabaritne dimenzije radnog prostora (definišu njegovu veličinu i oblik):
  - ✓ za strug: D_{max}, L_{max}
  - ✓ za konzolnu glodalicu: B_{max}, L_{max}
  - ✓ za bušilicu: d_{max}
- dimenzije pojedinih elemenata mašina, npr.: prečnik otvora glavnog vretena, dimenzije nosača alata, tip i veličina konusa za prihvatanje pribora;
- visina ose mašine;
- Tačnost izvedene mašine, kao geometrijska karakteristika, zavisi od:
  - ✓ postavljene (definisane) koncepcije mašine;
  - ✓ izvedene konstrukcije elemenata i sklopova;
  - ✓ tehnologije izrade i montaže;

Geometrijska karakteristike mašine alatke

- Pod koncepcijom se podrazumeva način ostvarenja osnovnih kretanja koje zahteva metoda obrade, odnosno vrsta mašine alatke
- Izvedena konstrukcija elemenata i sklopova je rezultat definisanja parametara konstrukcije od strane konstruktora;
- Tehnologija izrade i montaže je rezultat definisanja tehnoloških parametara izrade delova i montaže od strane tehnologa;
- Na konstrukciju, izradu i montažu se može uticati poznavanjem teorije mernih lanaca.
- Veća tačnost mašina alatki se ne postiže tačnijom izradom delova već koncepcionim rešenjem.
- ***Geometrijska tačnost***, je jedna od tačnosti, kojom se definiše „kvalitet“ mašine u smislu njenih geometrijskih osobina.

Geometrijska tačnost mašine alatke

- Procedura i postupak ispitivanje geometrijske tačnosti, merna oprema, uslovi ispitivanja, parametri tačnosti, dozvoljena odstupanja su definisani standardima. Ispitivanja obuhvataju:
  - ✓ tačnosti (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine;
  - ✓ tačnosti trajektorije pri kretanju vitalnih elemenata (koji obezbeđuju relativno kretanje između alata i obradka);
  - ✓ tačnosti međusobnog položaja vitalnih elemenata (koji utiču na tačnost obradka, kasnije pri radu mašine);
- Ispitivanje ili određivanje geometrijske tačnosti podrazumeva završno ispitivanje tačnosti ***montirane mašine u neopterećenom stanju i dovedene u stacionarno temperaturno stanje.*** Osnove za ispitivanje tačnosti izrade mašina alatki postavio je Prof. Šlezinger (*G. Schlesinger 1874- 1949*).
- Na osnovu njih izrađeni su nacionalni standardi u industrijski razvijenim zemljama. Ovi standardi služe za kvalitativni prijem mašina.

Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine

- Elementi mašina alatki su definisani odgovarajućim crtežima, na kojima su prikazane mere pojedinih elemenata konture, njihov međusobni položaj, kao i dozvoljeno odstupanje tih površina od idealne (nominalne) vrednosti.
- Odstupanje od idealnog oblika naziva se GREŠKA OBLIKA.
- U opštem slučaju mašinski elementi pa i elementi mašina alatki su ograničeni:
  - ✓ ravnim površinama;
  - ✓ rotacionim površinama;
  - ✓ proizvoljnim prostornim površinama (skulpturnim površinama);

Geometrijska tačnost mašine alatke

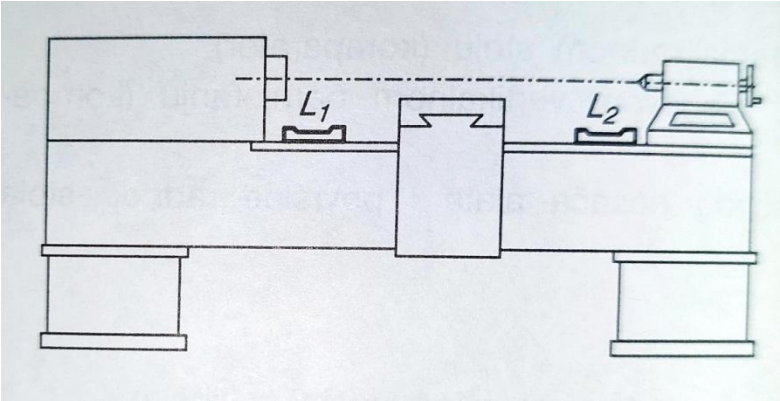
Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

- Kontrola ravnih površina kod mašina alatki se susreće pri ispitivanju osnovnih (fundamentalnih) ploča, vođica (kliznih, kotrljajnih), ploča za stezanje;
- Pre bilo kog merenja mašinu alatku treba postaviti u horizontalni položaj i prekontrolisati ravnost površina i njihov položaj u prostoru (horizontanost) pomoću:
  - LIBELE (okvirna ili koicident);
  - AUTOKOLIMATORA
  - MERNOG LENJIRA I SATA;
  - LASERSKOG MERNOG SISTEM;

Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

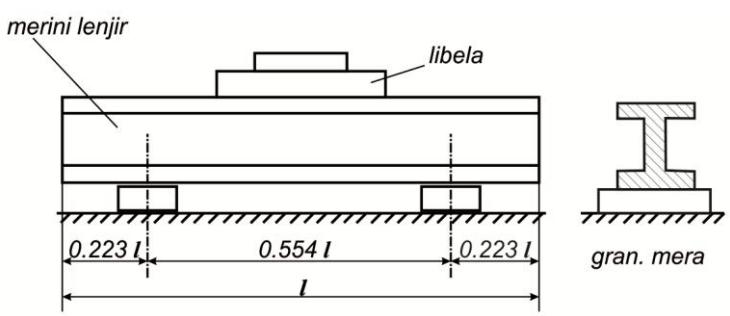
- Pri *kontroli položaja (horizontalnosti) površine u prostoru* koristi se libela, pri čemu dužina naleganja libele ne sme biti manja od 200 mm.
- Libela se prvo postavi u na levi krak L1, a zatim na desni L2 kraj vođice. Postupak se prvo radi na prednjoj, pa na zadnjoj strani vođice.
- Na merno mesto na vođicama se postavlja prizma sa žljebom koji tačno odgovara profilu vođice,a zatim se na prizmu postavlja libela.
- Merenje u poprečnom pravcu vrši se na taj način što se na vođice postavlja poprečni most a na njega libela.

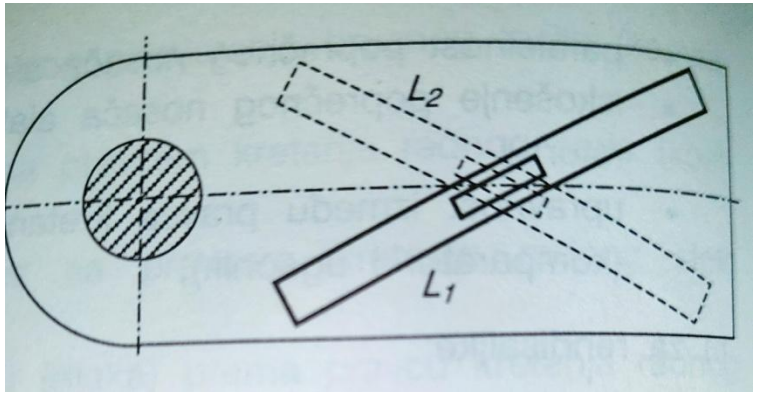


Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

- Kod mašina alatki koji imaju temeljnu ploču (npr. radijalna bušilica). kontrola se vrši postavljanjem libele u dva unakrsna pravca.
- Libela se na ravnu površinu ne postavlja direktno, već preko tačnog planparalelnog lenjira i graničnih merila.
- Rastojanje između graničnih merila - oslonaca je tako definisano da ugib mernog lenjira usled sopstvene težine bude minimalan. Na ovaj način se izbegava uticaj neuravnjenosti površine na rezultate merenja horizontalnosti.
- Ova dva pravca merenja po mogućnosti treba da su međusobno normalna, jer je tada veća tačnost merenja.

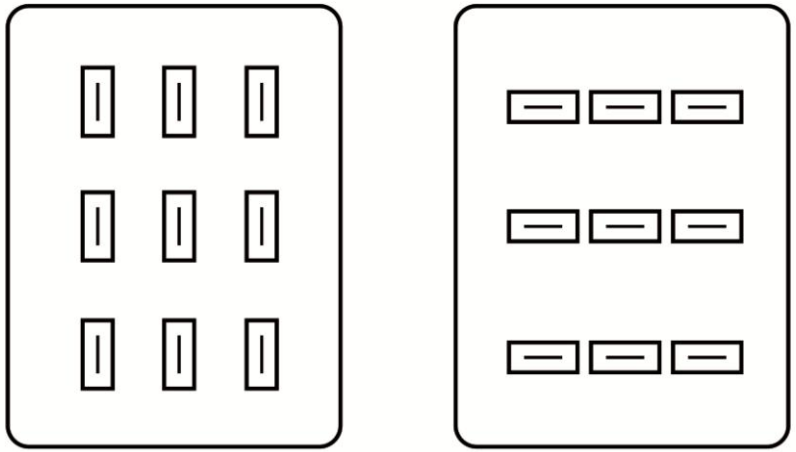




Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

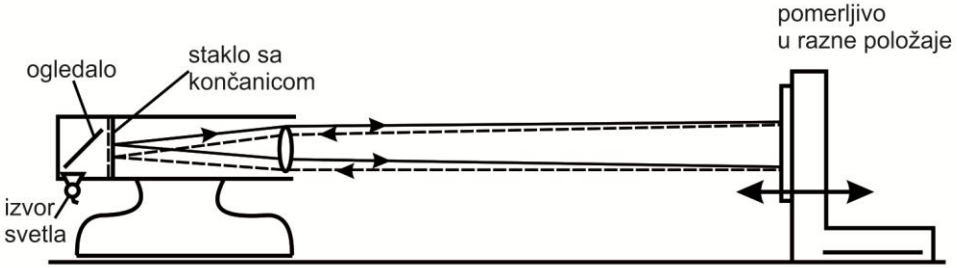
- Provera *ravnosti (uravnjenosti) površina* ***pomoću libele*** se vrši na taj način što se libela postavlja na mernu površinu, prvo u tri uzdužna paralelna pravca , a zatim u tri poprečna paralelna pravca i u svakoj tački se očitava pokazivanje.
- Rastojanje mernih mesta u jednom pravcu iznosi 300-500 mm. *Pojas rasipanja očitanih vrednosti predstavlja odstupanje površine od idealne ravni.*

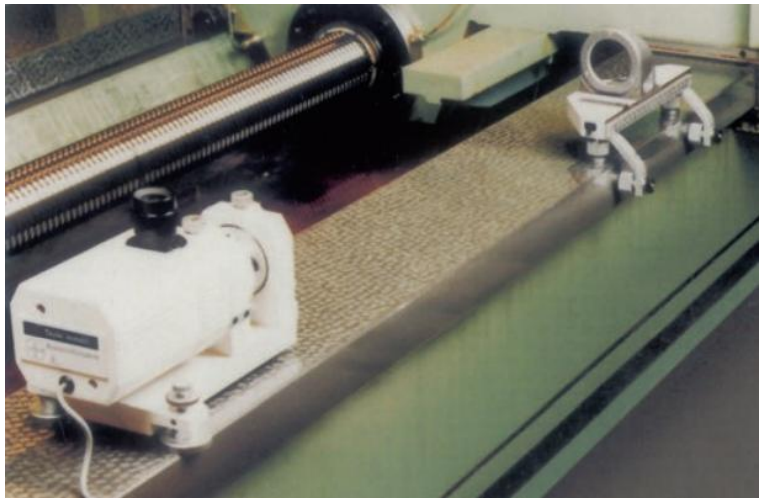


Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

- *Ravnost i horizontalnost površina* se takođe može ispitati **i pomoću autokolimatora.**
- Autokolimator se postavlja na površinu koja se kontroliše pomoću sopstvenog stalka, dok se na istu površinu ispred durbina postavlja ogledalo koje se nalazi na vertikalnom kraku pravouglog ugaonika i pri merenju se pomera.

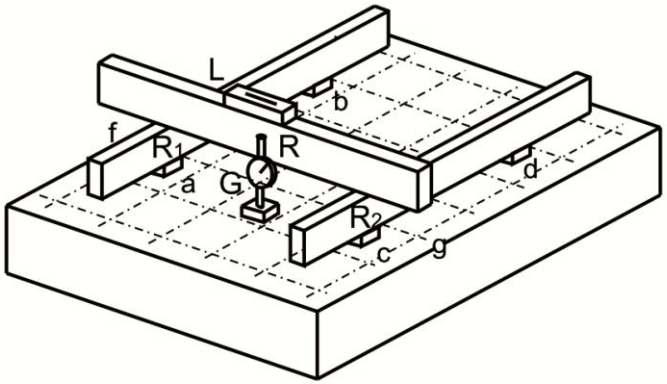




Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

- Proveru *ravnosti (uravnjenosti) površina* je moguće vršiti i prko mernog sata *(komparatora) i lenjira*
- Dva merna lenjira se postave na granična merila po istom principu kao i kod proveravanja hoizontalnosti.
- Treći merni lenjir se postavlja u određeni broj položaja na njih i u defiisanim tačkama meri pokazivanje mernog sata pri čemu je pipak mernog sata naslonjen na donju površinu poprečno postavljenog mernog lenjira.

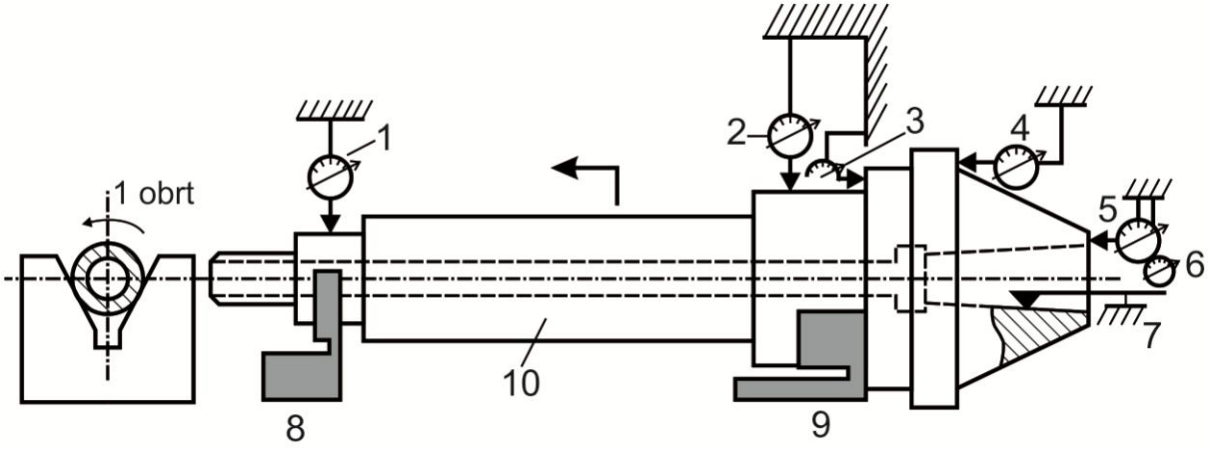


Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola rotacionih površina

Ova kontrola obuhvata:

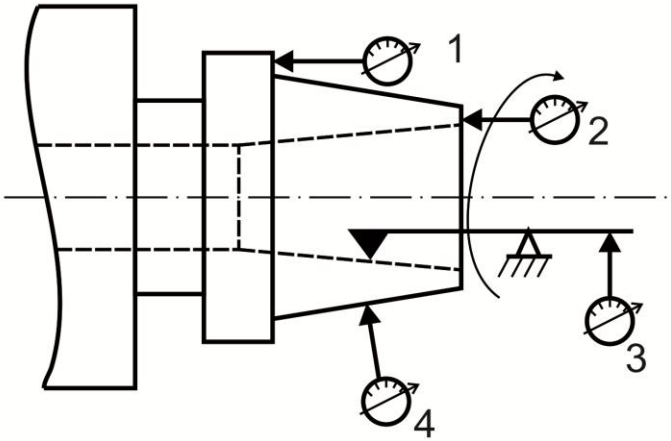
- kontrolu cilindričnosti i kružnosti (cilindričnog oblika);
- radijalno bacanje pojedinih rotacionih površina, međusobno, odnosno u odnosu na određenu (referentnu) rotacionu površinu;
- aksijalno bacanje.



Geometrijska tačnost mašine alatke

Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

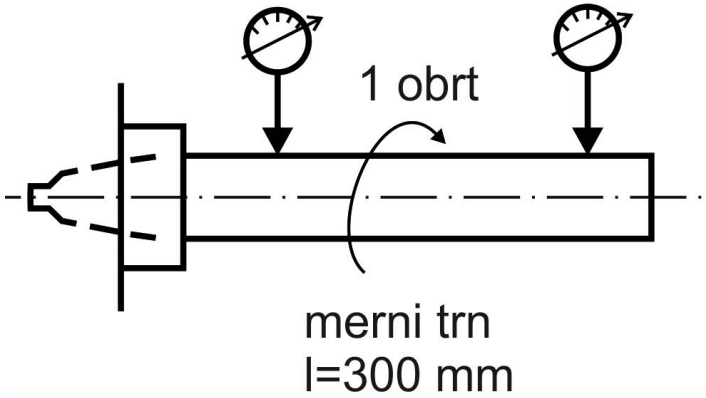
- Ova kontrola se može izvršiti na dva načina **neposrednim merenjem** ili **posredno primenom mernog trna.**
- Neposrednim merenjem moguće je odrediti:
  - aksijalno bacanje čeone površine venca (merni sat-položaj 1);
  - aksijalno bacanje vrha glavnog vretena (merni sat-položaj 2);
  - kružnost unutrašnjeg konusa (merni sat-položaj 3) i
  - kružnost spoljnog konusa vrha vretena (merni sat-položaj 4)



Geometrijska tačnost mašine alatke

Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

- *Centričnost ose unutrašnjeg konusa* glavnog vretena meri se posredno primenom mernog trna. Obzirom da se meri tačnost ose, potrebno je izvršiti materijalizaciju ose što se u ovom lučaju čini mernim trnom.
- Merni trn ima valjkasti oblik sa koničnim završetkom. Konični završetak mernog trna odgovara unutrašnjem konusu glavnog vretena i izražen je brojem Metričkog ili Morze konusa.
- Korisna dužina mernog trna je obično 300 mm, ali može biti i manja i veća u granicama od 75 do 500 mm.

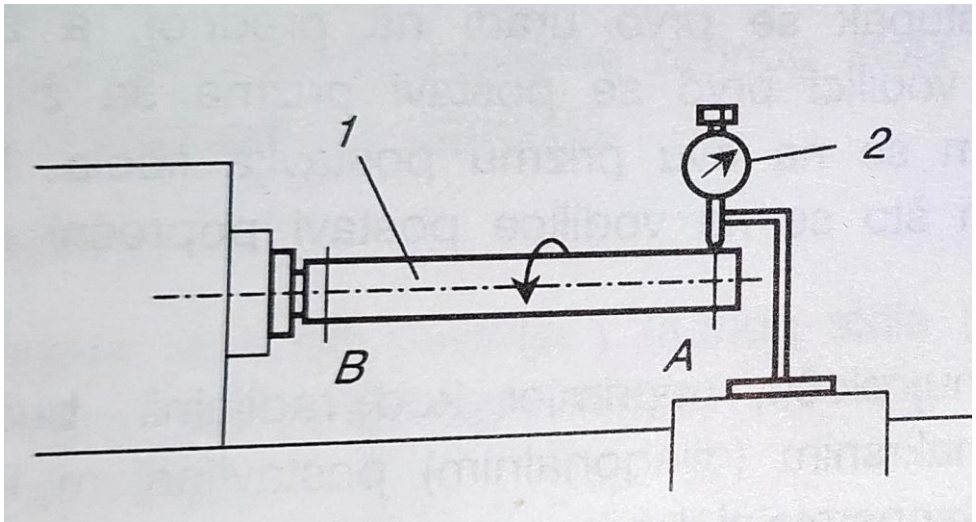


Geometrijska tačnost mašine alatke

Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

Centričnost ose unutrašnjeg konusa

- Merni pipak mernog sata (2), čiji stalak stoji na nepokretnom elementu mašine, se postavlja na kraj mernog trna (1). Glavno vreteno sa mernim trnom se ručno okrene za jedan obrt i meri skretanje kazaljke mernog sata.
- Najveće dozvoljeno odstupanje za ovo merenje kod strugova (položaj A) visine šiljaka do 400 mm, iznosi **0,02** mm, ako je odstojanje mernog pipka 300 mm.
- Merenje se ponavlja za drugi položaj (bliže glavnom vretenu - položaj B), a dozvoljeno odstupanje iznosi **0,01** mm.

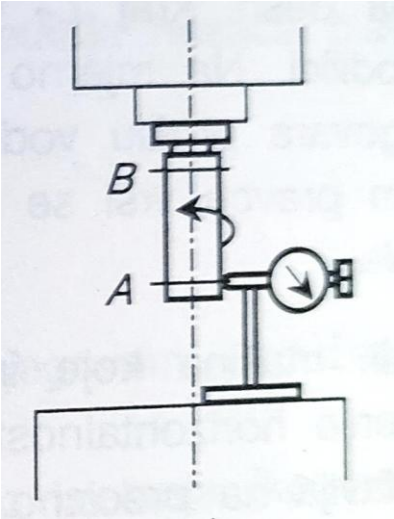


Geometrijska tačnost mašine alatke

Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

Centričnost ose unutrašnjeg konusa

- Kod ispitivanja centričnosti konusa glavnog vretena bušilica, vertikalnih glodalica se koriste merni trnovi dužine 100 mm za vretena sa Morze konusom manjim od MK2 i dužine od 300 mm za Morze konuse veće od MK2.
- Dozvoljena odstupanja za stubne i bušilice sa postoljem su 0,02 mm (merno mesto A) i 0,015 mm (merno mesto B) za Morze konuse do MK2, a za veće odstupanja su 0,03 i 0,02 mm.
- Za vertikalne glodalice se koristi merni trn od 300 mm, pri čemu su dozvoljena odstupanja 0,02 mm (merno mesto A) i 0,01 mm (merno mesto B).

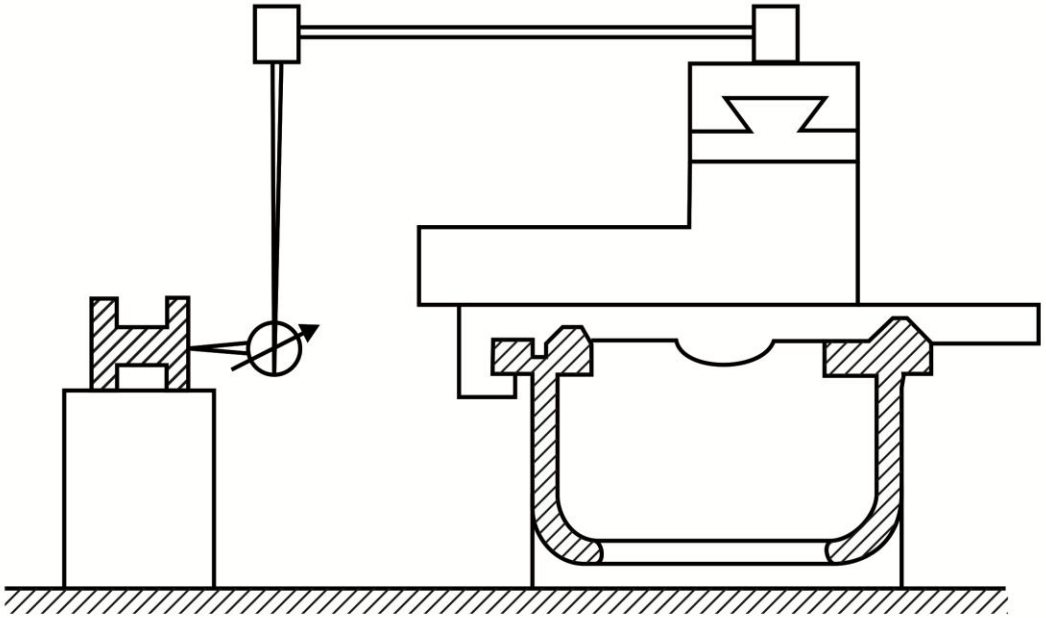


Geometrijska tačnost mašine alatke

Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

Kontrola pravolinijskog kretanja (vođenja) klizača

- Stalak mernog sata se postavlja na klizač, a merni pipak na merni lenjir. U krajnjim tačkama vođica podesi se merni sat na nultu vrednost.
- Vrši se pomeranje klizača duž vođica i prati pokazivanje mernog sata. Odstupanje od idealnog pravca ukazuju na pravost kretanja klizača duž vođica (postolja)

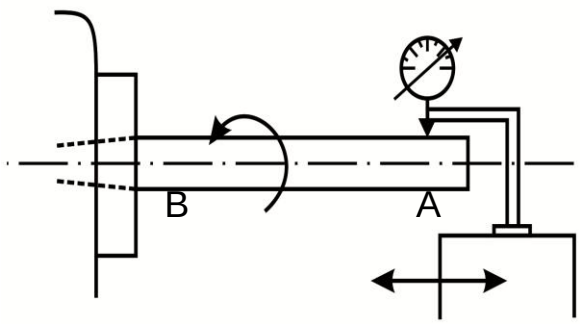


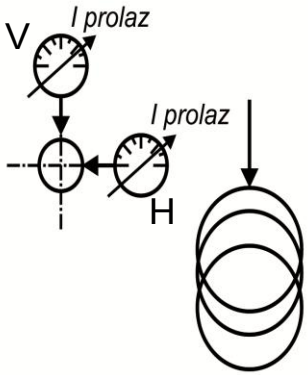
Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Paralelnost ose glavnog vretena sa pravcem kretanja nosača alata

- Nosač mernog sata se postavlja na nosač alata i zajedno sa njim pomera duž mernog trna, a pipak mernog sata klizi po izvodnici mernog trna (od tačke A do tačke B). Merenje se vrši u vertikalnoj i horizontalnoj ravni.
- Da bi se isključila greška centričnosti postavlja se glavno vreteno sa mernim trnom u srednji položaj greške centričnosti.
- Okretanjem glavnog vreteno za 90° u odnosu na ravan izmerenih najvećih odstupanja centričnosti konus glavnog vretena se greška iz vertikalne prenosi u horizontalnu ravan, pri čemu se greška centričnosti svodi na minimalnu vrednost.





Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Paralelnost ose glavnog vretena sa pravcem kretanja nosača alata

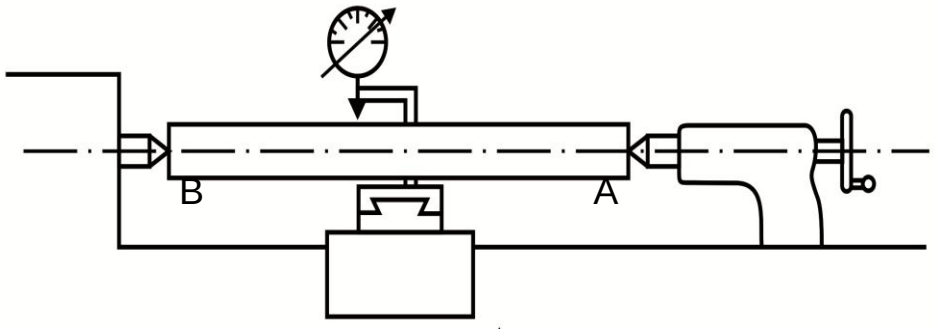
- Dozvoljeno odstupanje za horizontalne strugove sa šiljcima visine šiljaka do 400 mm od paralelnosti u vertikalnoj i horizontalnoj ravni iznosi 0,02 mm, na mernoj dužini 300 mm.
- Dozvoljeno odstupanje za horizontalne strugove sa šiljcima visine šiljaka preko 400 mm od paralelnosti iznosi u vertikalnoj 0,04 mm i horizontalnoj ravni 0,03 mm, na mernoj dužini 500 mm.
- Dozvoljeno odstupanje za strugove sa horizontalnom i vertikalnom revolver glavom za glavno vreteno do 30 mm od paralelnosti u vertikalnoj i horizontalnoj ravni iznosi 0,01 mm, na mernoj dužini 100 mm.
- Dozvoljeni smer odstupanja je sledeći: u vertikalnoj ravni slobodni kraj mernog trna sme biti usmeren naviše, a u horizontalnoj ravni ka prednjoj vođici.
- Smer dozvoljenog odstupanja kod neopterećenih mašina alatki mora uvek biti takav da *ELASTIČNE DEFORMACIJE* odgovarajućih elemenata mašina pod radnim opterećenjem doprinose *SMANJENJU tih ODSTUPANJA*.

Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Kontrola paralelnosti „radne ose“ sa pravcem kretanja nosača alata

- Osa koja spaja osu glavnog vretena i osu nosača šiljka (konjica) kod strugova se naziva ***radna osa.***
- Za strugove razmaka između šiljaka do 3000 mm, ispitivanje se vrši pomoću mernog sata i mernog valjka.
- Merenje se vrši u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Merni valjak se stegne između šiljaka a merni sat se postavi na nosač alata.
- U vertikalnoj ravni se merenje vrši pomeranjem komparatora duž izvodnice mernog trna, dok se u horizontalnoj ravni merenja izvrši samo u krajnjim tačkama mernog trna (A i B).

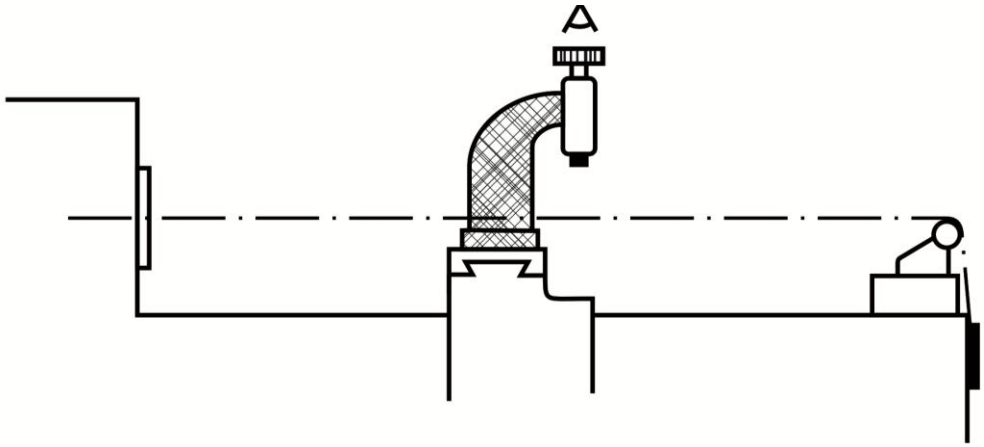


Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Kontrola paralelnosti „radne ose“ sa pravcem kretanja nosača alata

- Kod strugova razmaka šiljaka preko 3000 mm vrši se merenje paralelnosti pomoću merne žice (prečnika 0,1 mm) koja se jednim krajem centrično učvršćuje u stezač pomoću, a drugi (desni) kraj se prebacuje preko kotura postavljenog na desni kraj vođica i zateže pomoću tega.
- Mikroskop (A) se postavlja na nosač alata i pomera u uzdužnom pravcu. Merenje se vrši očitavanjem odsupanja pomoću končanice mikroskopa.

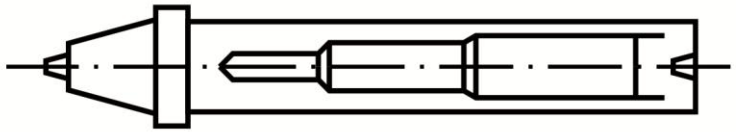


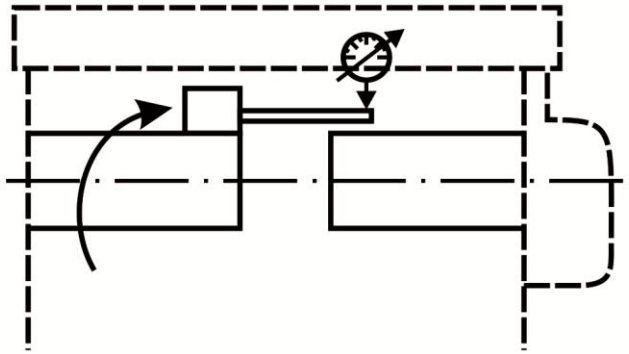
Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Ispitivanje koaksijalnosti

- Ovakva ispitivanja su značajna kod kontrole konzolnih horizontalnih glodalica.
- U glavno vreteno se postavi merni trn i na njega nosač mernog sata.
- Pipak mernog sata se nasloni na merni cilindar i ručnim obrtanjem glavnog vretena za jedan obrt se meri pokazivanje mernog sata.



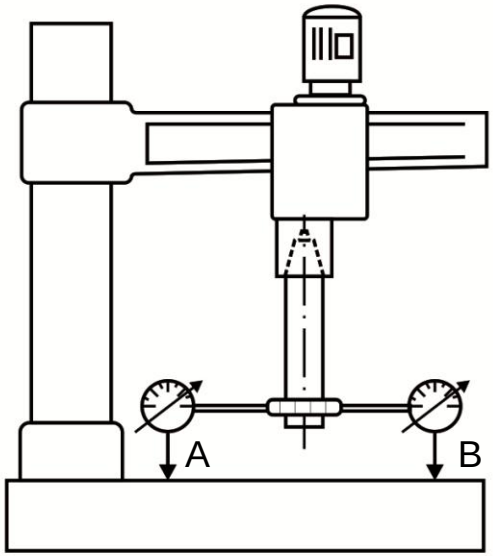


Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Kontrola normalnosti ose glavnog vretena prema radnom stolu

- Ova ispitivanja se vrše kod mašina sa vertikalnim glavnim vretenom.
- Merenje se izvodi u ravni simetrije i ravni normalnoj na ravan simetrije mašine alatke. Pipak komparatora se osloni na planparaleleni lenjir koji je postavljen na sto mašine.
- U ravni simetrije mašine očita se pokazivanje mernog sata u jednom krajnjem položaju (A), a zatim se ručno okrene glavno vreteno i očitava pokazivanje mernog sata u tački koja se nalazi okrenuta za 180° u odnosu na prvu tačku (B).



Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Kontrola normalnosti ose glavnog vretena prema radnom stolu

Dozvoljena odstupanja su:

- kod stubnih bušilica na mernoj dužini od 500 mm: u ravni simetrije 0,08 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,05 mm
- kod bušilica sa postoljem na mernoj dužini od 300 mm: u ravni simetrije 0,05 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,03 mm
- kod radijalnih bušilica na mernoj dužini od 1000 mm: u ravni simetrije 0,2 mm/m i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,1 mm/m;
- kod vertikalnih glodalica na mernoj dužini od 150 mm: u ravni simetrije 0,01 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,01 mm

Geometrijska tačnost mašine alatke

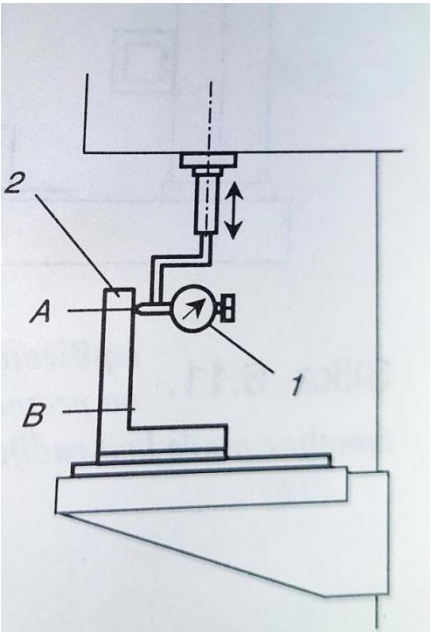
Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

Kontrola normalnosti pravca kretanja glavnog vretena prema radnom stolu

Ova ispitivanja se vrše takođe kod mašina sa vertikalnim glavnim vretenom.

Ispitivanje se vrši pomoću komparatora, ugalomera i lenjira. Komparator se postavlja na glavno vreteno, a njegov pipak na uglomer (2) koji se nalazi na radnom stolu mašine.

Merenje se vrši aksijalnim (vertikalnim) pomeranjem glavnog vretena u ravni simetrije i u ravni normalnoj na ravan simetrije.



Geometrijska tačnost mašine alatke

Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

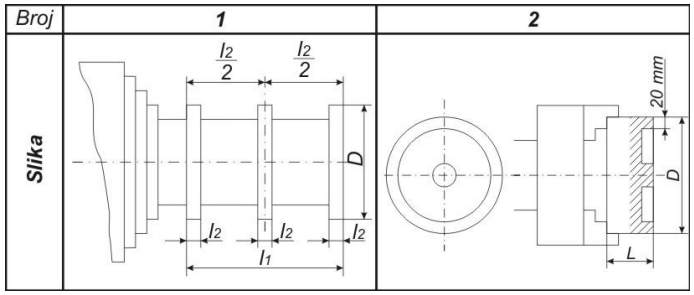
Kontrola normalnosti pravca kretanja glavnog vretena prema radnom stolu

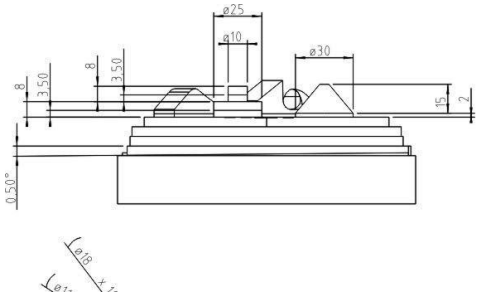
Dozvoljena odstupanja su:

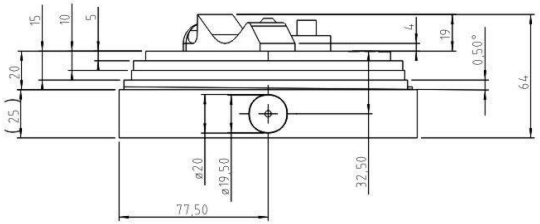
- kod stubnih bušilica na mernoj dužini od 500 mm: u ravni simetrije 0,06 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,06 mm
- kod bušilica sa postoljem na mernoj dužini od 300 mm: u ravni simetrije 0,05 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,03 mm
- kod radijalnih bušilica za maksimalnu dubinu bušenja od 150 mm u ravni simetrije 0,05, a za dubine bušenja od 300 mm u ravni simetrije 0,1 i za dubine veće od 300 mm, dozvoljeno odstupanje je 0,15 mm.

Radna tačnost mašine alatke

- Zbog odsustva opterećenja prvenstveno, pri ispitivanju geometrijske tačnosti standard predviđa i tzv. praktična ispitivanja kojima se vrši izrada probnih radnih predmeta i tada je reč o tzv. **radnoj tačnosti**.
- Pod ispitivanjem radne tačnosti podrazumeva se izrada uzoraka, sa naznačenim merama i dozvoljenim odstupanjima od njih uz uslov postizanja najvećeg stepena tačnosti koji omogućava data mašina.
- Izgled radnog predmata je prilagođen osnovnim operacijama obrade na datoj mašini.







FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

5.0 GLAVNE (TEHNIČKE) KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI
- Tehnološke karakteristike-

Tehnološke karakteristike

- Tehnološke karakteristike su osobine kojima mašina alatka raspolaže radi realizacije odgovarajuće tehnologije izrade obradaka, što je u ovom slučaju određene metode obrade rezanjem
- Da bi se obrada realizovala, mašina, odnosno njeni elementi moraju obezbediti odgovarajuća kretanja obradka i alata, i to uz prihvatanje sila i momenata koji se pri obradi pojavljuju.
- Tehnološke karakteristike su u neposrednoj vezi sa parametrima režima obrade.

Tehnološke karakteristike

Za slučaj *obrade struganjem* ti parametri su:

- materijal obradka iskazan koeficijentima C_k, C_v, x, x_1, y, y_1;
- vrsta obrade (gruba, završna, ...) koja zavisi od zahtevanog kvaliteta izradka, konfiguracije pripremka, tehnologije izrade pripremka, ...;
- materijal reznog dela alata (ξ_m);
- geometrija reznog dela alata (ξ_K);
- postojanost, vreme zamene alata (ξ_T);
- dubina rezanja (a), u funkciji dodatka za obradu, broja prolaza, glavnog vremena obrade, vrste obrade, ...;
- pomaka (s) u funkciji kvaliteta obrađene površine, vrste obrade, vitkosti strugotine, ...;

Tehnološke karakteristike

Za slučaj *obrade bušenjem* ti parametri su:

- materijal obradka iskazan koeficijentima - C_m, C_F, C_V, x, x_1, x_o, y, y_1, y_o, m
- vrsta obrade (bušenje, proširivanje, razvrtanje, ...) koja zavisi od zahtevanog kvaliteta izradka,
- materijal alata (k_c)
- vreme zamene alata, tj. postojanost (T)

Za slučaj *obrade glodanjem* ti parametri su:

- materijal obradka iskazan koeficijentima C_V, C_F, x, x_o, y, y_o, m, i, i_o, q, q_o, u, w,
- vrsta obrade (gruba, završna, obimno, čeono glodanje, ...) koja zavisi od zahtevanog kvaliteta izradka, konfiguracije pripremka, tehnologije izrade pripremka...
- materijal reznog dela alata
- vreme zamene alata, tj. postojanost
- dubina rezanja , u funkciji zahtevanog kvaliteta obrađene površine, vrste obrade, ...

Na osnovu ovih parametara određuju se elementi režima obrade, u cilju usaglašavanja, odnosno izbora mašine odgovarajućih tehnoloških karakteristika. To su glavni faktori obrade: **brzine i sile rezanja**.

Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

Izraz za brzinu rezanja za obradu struganjem se može napisati u sledećem obliku:

$$Vs = \frac{C_V}{a^x s^y} \xi_m \xi_\kappa \xi_T$$

Sličan izraz je i za određivanje brzine rezanja pri metodi obrade bušenjem

$v = (C_v D^{xo} \mu_o)\, k_v / (T^m s^{yo})$

odnosno pri obimnom glodanju:

$v = (C_v\, D^i) / (T^m\, a^x\, s_z^y\, b^q\, z^u\, \varepsilon^w)$

Neophodno je da mašina alatka obezbedi brzine rezanja za različite kombinacije navedenih parametara.

Ova brzina je ustvari obimna brzina obradka ili alata prečnika D, pa se od mašine zahteva da raspolaže odgovarajućim brojem obrtaja - n.

$$n = \frac{V}{\pi d}$$

Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

- Da bi se na bilo kom prečniku ili pri obradi alatom bilo kog prečnika mogla ostvariti zahtevana brzina rezanja, morala bi mašina raspolagati sa beskonačno mnogo različitih brojeva obrtaja. Prethodno se može ostvariti unutar određenog intervalu (opsega) (n_{min} - n_{max}):

$$n_{\min} = \frac{V_{\min}}{\pi d_{\max}} \qquad n_{\max} = \frac{V_{\max}}{\pi d_{\min}}$$

i to primenom pogona sa kontinualnom promenom brojeva obrtaja:

- motori istosmerne struje,
- motori naizmenične struje sa promenom frekfencije,
- hidromotori,
- turbinski pogon,
- primenom kontinulanih (specijalnih) prenosnika.

Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

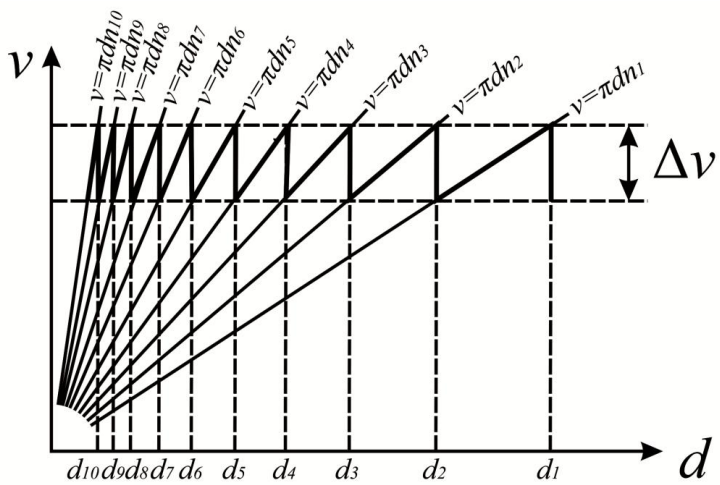
- Sve ovo se odražava na složenost mašine, odnosno njenu cenu, pa se u velikom broju slučajeva, bar kada je reč o konvencionalnim mašinama, promena brojeva obrtaja ostvaruje po određenim stupnjevima, koji predstavljaju neki matematički niz (aritimetički, geometrijski, ...), unutar usvojenog intervala (opsega):

$$n_1\left(n_{\min}\right),\ n_2,\ n_3,\ldots,n_m\ \left(n_{\max}\right)$$

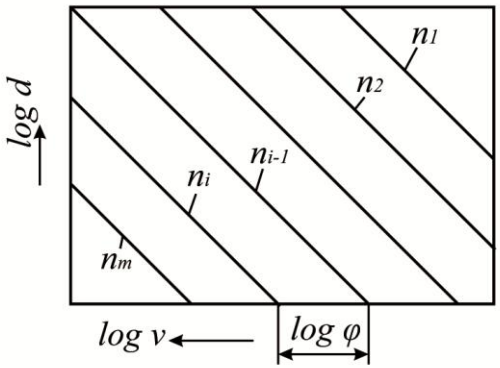
- Na osnovu prethodnog može se zaključiti da jednu od *tehnoloških karakteristika mašine alatke predstavljaju brojevi obrtaja određeni*:
  - ✓ graničnim vrednostima ,
  - ✓ brojem stupnjeva ,
  - ✓ vrstom promene (za geometrijsku, kao najčešću korišćenu zakonitost).

Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

- Ovi podaci se mogu predstaviti grafički u pravouglom koordinatnom sistemu (D,v) u obliku familije pravih koje prolaze kroz koordinatni početak, i predstavlja radni dijagram mašine.
- Radni dijagram sliži za određivanje brojeva obrtaja za zadatu tehnološku brzinu i prečnik obradka (alata).
- Zbog oblika testeraste linije naziva se radni testerasti dijagram mašine, što je za slučaj geometrijske promene brojeva obrtaja.
- Ovi podaci se mogu predstaviti grafički u tzv. **radnom dijagramu** u funkciji prečnika. Za slučaj geometrijske zakonitosti, koja se najčešće koristi kod mašina alatki za obradu rezanjem.



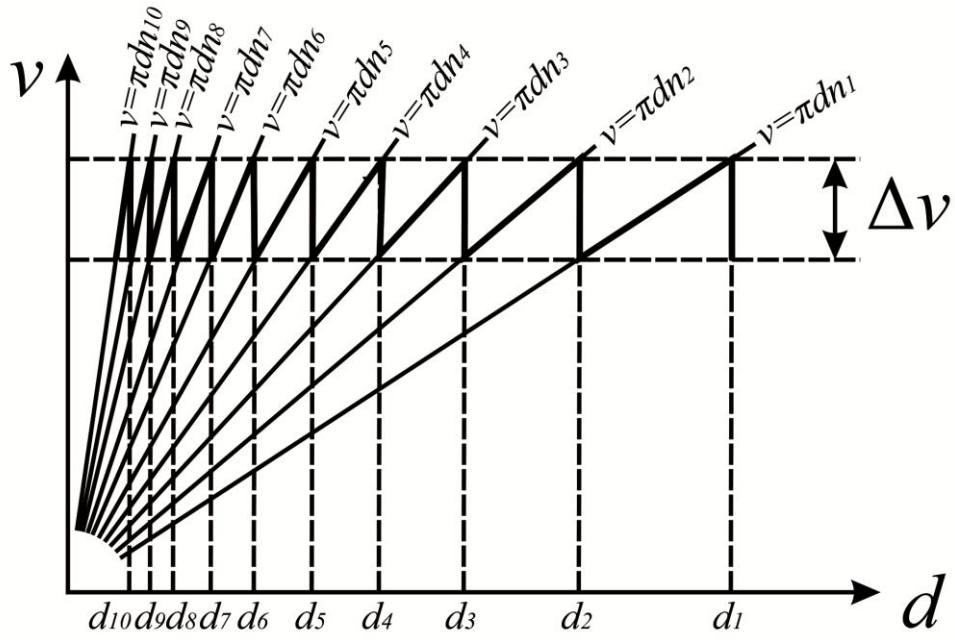
Radni testerasti dijagram



Radni logaritamski dijagram

Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

- Brzina određena izrazom prema teoriji obrade rezanjem (tehnološka brzina) može se ostvariti samo na nekim prečnicima.
- U intervalu između njih neminovno je odstupanje od te brzine zbog prisustva samo nekih brojeva obrtaja, a najveće je ΔV (maksimalni gubitak tehnološke brzine).
- Gubitak tehnološke brzine Δv je dopustiv u određenim granicama, a zavisi od faktora promene.
- Imajući u vidu da se kod mašina alatki faktor geometrijske promene kreće od φ =1,12 do φ=2, to relativni gubitak tehnološke brzine Δv [%] iznosi od 10,7[%] do 50[%] respektivno.



Tehnološke karakteristike - Maksimalni glavni otpor rezanja

- U zavisnosti od režima obrade javljaju se različita opterećenja koja deluju na mašinu.
- Najveće opterećenje, tj. glavni otpor rezanja koji mašina može da podnese (uz zadovoljavajuću tačnost obradka) predstavlja jednu od ***tehnoloških karakteristika.*** Kod struganja on je:

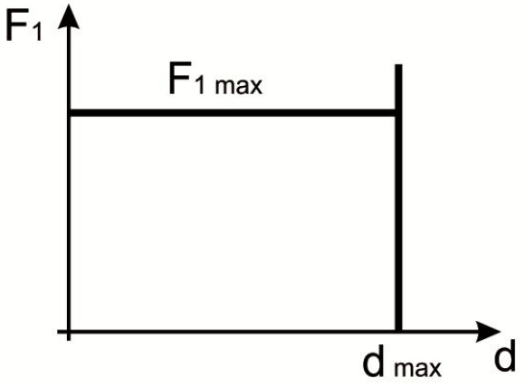
$$F_1 = C_k \cdot a^{x1} \cdot s^{y1}$$

- Kod obrade bušenjem (dvosečni alat) glavni otpori rezanja stvaraju moment koji se naziva moment bušenja, otpori prodiranja se uravnotežuju (isti pravac, suprotni smer), dok su otpori pomoćnog kretanja kolinearni pa se sabiraju i njihov zbir se naziva aksijalni otpor bušenja

$$F_3 = C_F \cdot D^{x1} \cdot s^{y1} \cdot k_F$$

- Otpor rezanja pri čeonom glodanju alatom od tvrdog metala (razmatrana kao veće vrednost u odnosu na obradu alatom od brzoreznog čelika)

$$F_m = z' \cdot F_{1m}; \qquad F_{1m} = C_k a_{1\max}^{x_1} s^{y_1}$$



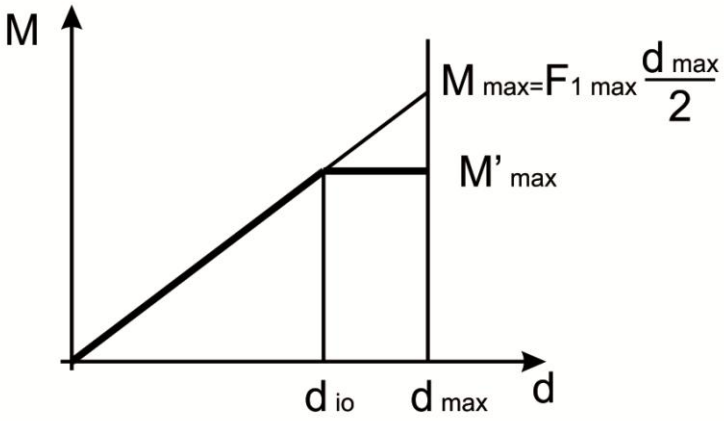
Tehnološke karakteristike - *Maksimalni merodavni obrtni moment - M'_{max}*

Kod obrade struganjem, glavni otpor rezanja deluje na rastojanju D/2 od ose rotacije, pa se na obradku javlja obrtni moment koji se prenosi na glavno vreteno mašine kao i sve druge elemente prenosnika za glavno kretanje.

$$M = F_1 \cdot \frac{d}{2}$$

U eksploataciji se vrlo retko javljaju ekstremni slučajevi, tj. obrada najvećeg prečnika uz najveći glavni otpor rezanja, pa bi dimenzionisanje elemenata mašine alatke prema momentu M_{max} bilo, u opštem slučaju, neracionalno.

Zato se kod mašina univerzalne namene, tj. mašina predviđenih za rad u širokom opsegu režima i prečnika, definiše najveći dozvoljeni moment, tj. moment prema kojem se dimenzionišu elementi mašine alatke ***maksimalni merodavni obrtni moment - M'_{max}***.



Tehnološke karakteristike - *Maksimalni merodavni obrtni moment - M'_{max}*

Imajući u vidu zadržavanje momenta na konstantnu vrednost u zoni velikih prečnika, to znači da tu mora doći do smanjenja jedne njegove komponente, a to je sila F_{1max}.

Do prečnika D_{io} može raditi i pri najtežim režimima (a da se pri tom čak ni ne dostigne moment na bazi kojeg je mašina projektovana), a iznad njega sa redukovanim režimima zbog opasnosti od prekoračenja najvećeg dozvoljenog momenta.

Drugim rečima to znači da je potpuno iskorišćenje mašine samo na prečniku D_{io}, koji se zato i zove "***idealni prečnik obrade***".

Bušenje

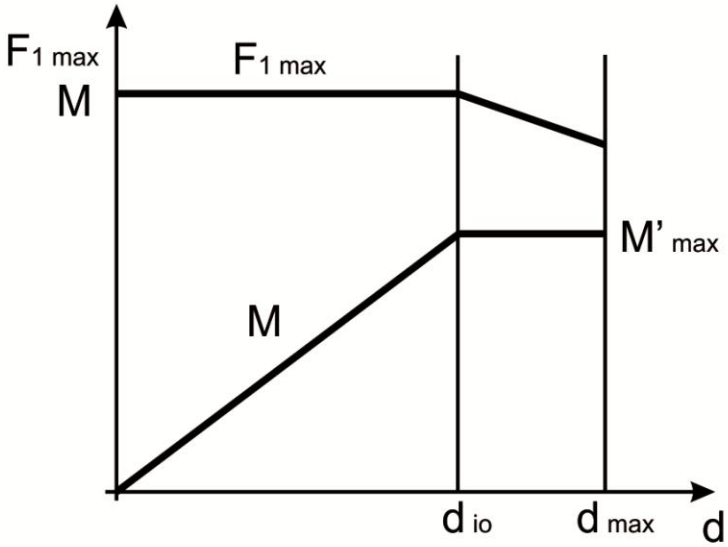
$$M'_{max} = C_m D_{io}^x s^y$$

Čeono glodanje

$$M'_{max} = \frac{z' F_{1m} D_o}{2}$$

Obimno glodanje

$$M'_{max} = \frac{0,5 \cdot D_{max} \cdot s_{io} \cdot b \cdot k_{sm} \cdot a_{1max}}{v}$$



Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Jedan od najvažnijih zadataka u projektovanju tehnologije obrade je određivanje pogonske snage, ali uzimajući u obzir i ekonomično iskorišćenje mašine.
- Kod specijlanih mašina kod kojih je u pitanju uža oblast primene, pogonska snaga se izračunava za manji dijapazon režima obrade, dononso, pri najvećoj sili, koja sledi iz predviđenog preseka strugotine, i brzini, pri usvojenoj postojanosti izabranog alata.

$$\boxed{P = F \cdot v}$$

- Kod univerzalnih mašina alatki se mora uzeti u obzir cela oblast primene i u toj oblasti odrediti optimalne režime rezanja na osnovu kojih će se proračunati potrebna snaga.
- Pri obradi struganjem je $P_K = F \cdot v$

$$P_K = P_1 + P_2 + P_3 = \underbrace{F_1 \cdot v}_{\text{Glavni otpor rezanja}} + \underbrace{F_2 \cdot v_2}_{\text{Sila pomoćnog kretanja}} + \underbrace{F_3 \cdot v_3}_{\text{Otpor prodiranja}}$$

Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Za slučaj – uzdužno struganje je $P_2=0$ zbog $v_2=0$.
- U opštem slučaju je $F_3 \approx 0.2F_1$ *i* $v_3 \leq 0.01v$ pa je $P_3/P_1 = 0.002 = 0.2\%$.
- U najnepovoljnijem slučaju je $P_3 \leq 0.5P_1$, pa je i ova komponenta zanemarivo mala, te se može smatrati da je $P_k = P_1$.
- Ulazna ili pogonska snaga (snaga pogonskog motora) mašine mora biti veća zbog neminovnih gubitaka pri prenosu energije od pogona do procesa obrade, što se iskazuje stepenom iskorišćenja η, pa je potrebna pogonska snaga:

$$P = \frac{F_1 \cdot v}{\eta}$$

- Ugradnja pogona snage koja bi zadovoljila i najteže uslove rada

$$P_{\max} = F_{1\max} \cdot v_{\max} / \eta$$

bila bi skupa i neopravdana, obzirom da F_{1max} odgovara gruboj, a v_{max} završnoj obradi.

Pitanje realne najnepovoljnije kombinacije ovih parametara razmatra se sa dva aspekta: ***alata, tj. potpunog iskorišćenja njegove postojanosti i mašine*, odnosno *potpunog iskorišćenja preseka strugotine***.

Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

a) Snaga obzirom na iskorišćenje postojanosti alata (T=const.)

$$P_A = \frac{F_1 \cdot v}{\eta} = \frac{C_K \cdot a^{x1} \cdot s^{y1} \cdot v}{\eta}$$

vitkost strugotine je: $g = \frac{a}{s} \qquad a = g \cdot s$

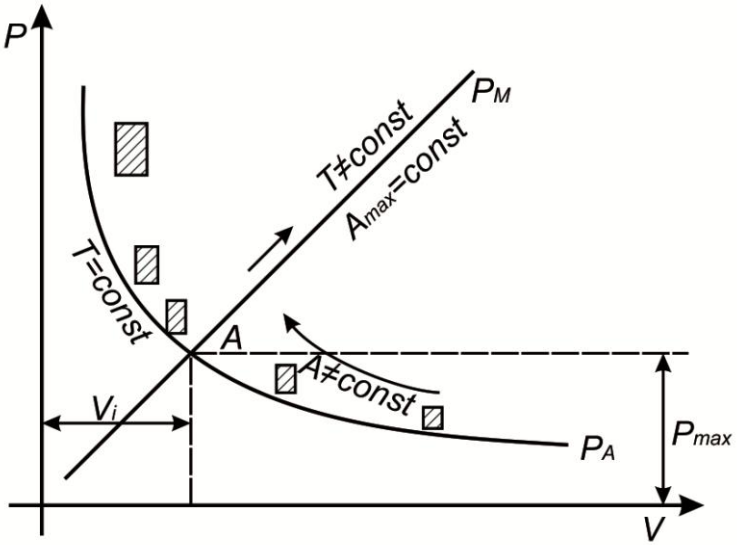
$$s = \left(\frac{C_v}{g^x \cdot v} \cdot \xi_m \cdot \xi_\kappa \cdot \xi_T \right)^{x+y}$$

$$P_A = \frac{C_A}{\eta} \cdot v^z \qquad z = 1 - \frac{x_1 + y_1}{x + y} < 0$$

b) Snaga obzirom na iskorišćenje preseka strugotine A_{max}, tj.

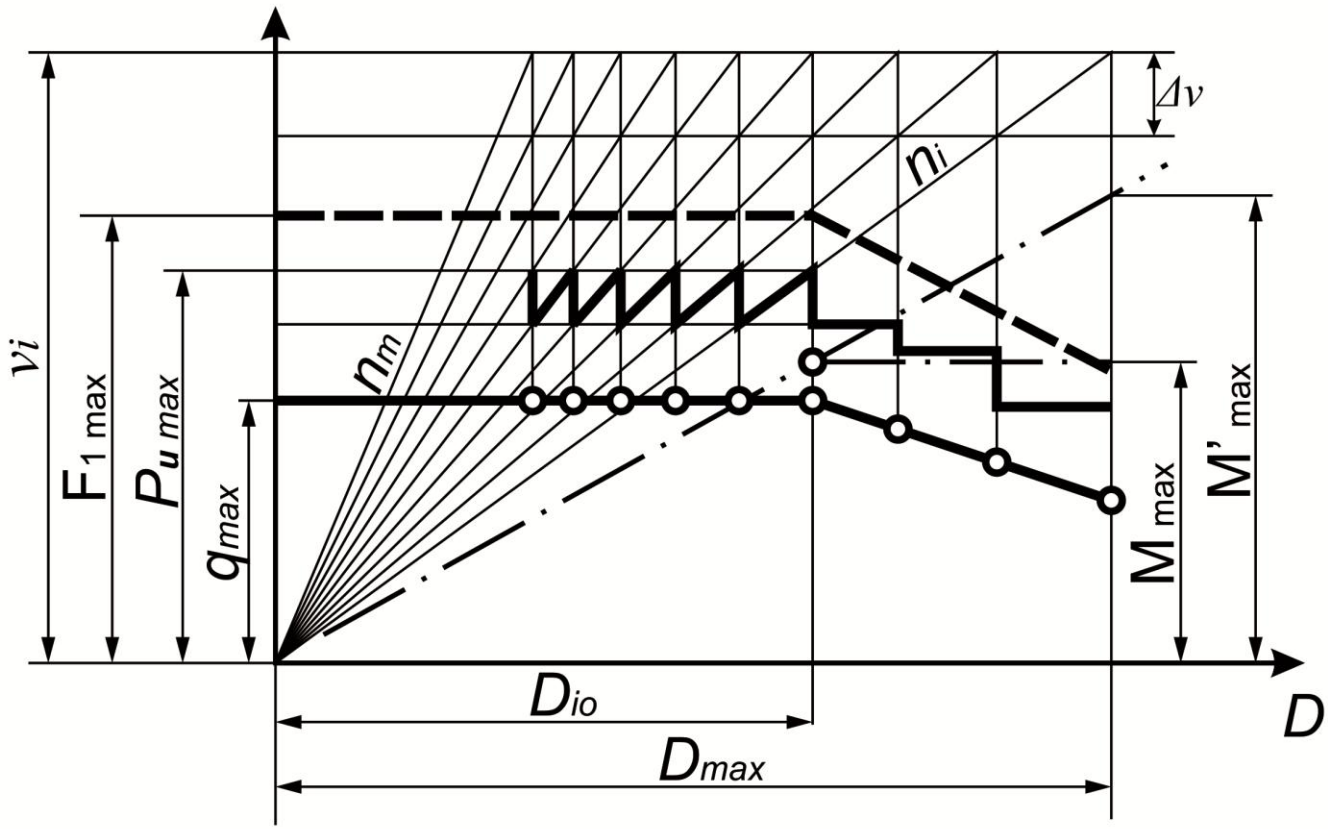
$$P_M = \frac{F_{1\max} \cdot v}{\eta} = \frac{C_M \cdot v}{\eta}$$

Pogonska snaga P_{max} , kao jedna od ***tehnoloških karakteristika mašine alatke***, ostvaruje se pri istovremenom iskorišćenju *usvojene postojanosti i preseka strugotine pri brzini rezanja* v_i koja se stoga i naziva "idealna" brzina.



Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Sve karakteristike u potpunosti iskorišćene samo na idealnom prečniku D_{io}.



Tehnološke karakteristike mašine alatke u radnom dijagramu

Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

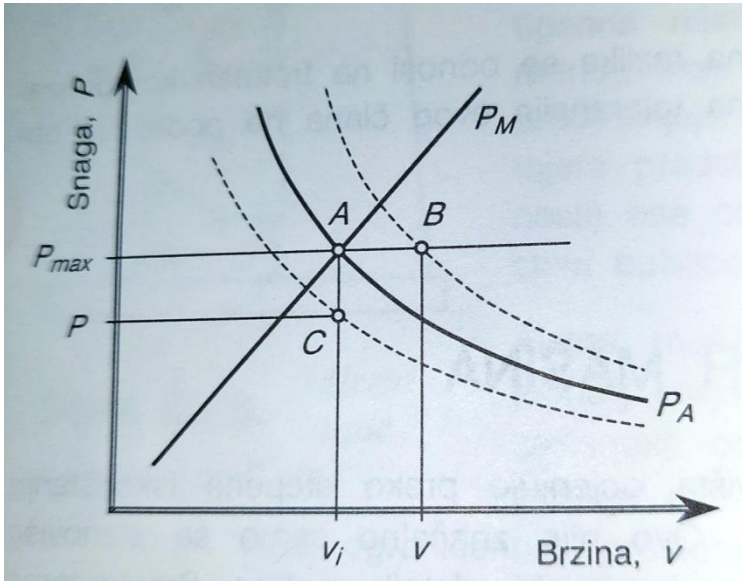
- Rad mašine sa manjim brzinama od v_i je moguć, ali samo sa snagom do limitirajuće prave P_M (da ne bi došlo do preopterećenja mašine).

To znači da se ne može iskoristiti u potpunosti ugrađena pogonska snaga P_{max}, uz prateće povećanje glavnog vremena izrade (zbog smanjenja brzine), kao i iz istog razloga smanjenja količine skinute strugotine .

- Povećanje brzine u odnosu na v_i je takođe moguće. Pri tome se opet može iskoristiti ugrađena snaga zbog limitirajuće krive P_A.

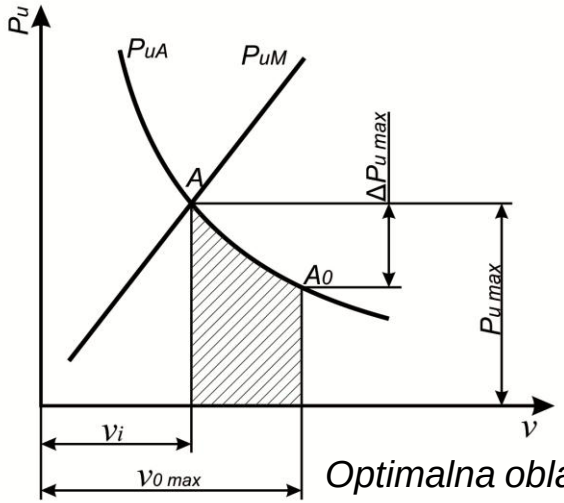
Količina strugotine se i u ovom slučaju smanjuje iako je brzina veća, zbog intenzivnijeg pada preseka strugotine. Povoljna je okolnost što se vreme izrade smanjuje.

P_A – snaga u oblasti potpunog iskorišćenja mašine (preseka strugotine)
P_M – snaga u oblasti potpunog iskorišćenja postojanosti alata



Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Promena brzine rezanja na mašini sa predviđenom vrstom alata zahteva određenu snagu, i moguće kombinacije su unutar šrafiranog područja na desnoj slici.
- Eksploatacija mašine sa manjim brzinama rezanja nema smisla, jer je glavno vreme obrade veće, a količina skinute strugotine u jedinici vremena manja.
- Povećanjem brzine iznadna v_i, smanjuje se t_g što je povoljno, ali se sada smanjuje količina skinute strugotine zbog manjeg preseka strugotine.
- To je tipičan slučaj završne obrade. Teorijski bi za slučaj v= ∞ bilo t_g =0, ali i količina skinute strugotine Q = a*s*v. = A *v = 0 zbog A=0.
- Povećanje brzine iznad v_i očito, ima opravdanja samo do neke granice v_{omax}.



Optimalna oblast obrade

Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Količina skinute strugotine u jedinici vremena (za slučaj struganja) je: Q = a*s*v [m³/s] ili Q = g*s²*v [m³/s]

Odnos količina skinute strugotine pri radu sa brzinom v_{0max} u odnosu na v_i zove se proizvodni stepen iskorišćenja i on je:

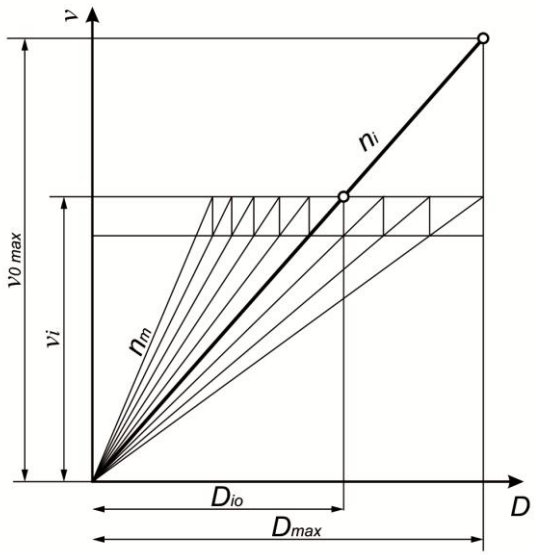
$$\eta_Q = \frac{g \cdot s^2 \cdot v_{o\max}}{g \cdot s_{\max}^2 \cdot v_i}$$

Eliminisanjem pomaka, proizvodni stepen iskorišćenja se može izraziti samo kao funkcija brzine:

$$\eta_Q = \left(\frac{v_i}{v_{o\max}}\right)^{\frac{2}{x+y}-1} \qquad \frac{v_i}{v_{o\max}} = \eta_Q^{\frac{x+y}{2-x-y}}$$

Idealni broj obrtaja je broj pri kojem se na najvećem prečniku postiže brzina v_{0max} . Prečnik na kome se, uz isti broj obrtaja, ostvari idealna brzina v_i , predstavlja **- idealni prečnik obrade.**

$$D_{io} = (0{,}7 - 0{,}8) D_{\max}$$



Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Pogonska snaga P_{max}, samo delimično pokazuje “kvalitet” mašine u pogledu njenih tehnoloških karakteristika.

Pitanje je, naime, koji njen deo se može iskoristiti za proces obrade, tj. kao korisna snaga - P_K. Globalan odgovor na to daje stepen iskorišćenja kao odnos korisne i ulazne snage - P, čija najveća vrednost može biti P_{max}:

$$\eta = \frac{P_K}{P}$$

Drugi način prikaza ulazne pogonske snage je:

$$P = P_K + P_O = P_K + P_O^{'} + P_o^{''}$$

P_o - snaga gubitaka pri radu mašine;

P'_o - snaga gubitaka pri radu mašine u praznom hodu;

P''_o- dopunska snaga gubitaka zbog povećanih opterećenja na pokretnim elementima;

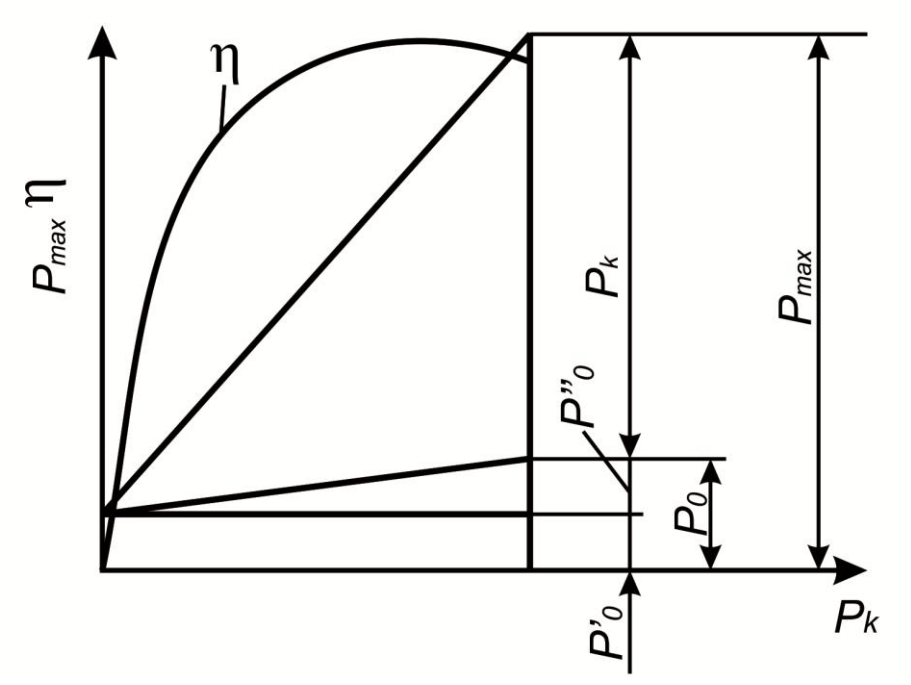
Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Koeficijent korisnig dejstva je:

$\eta = P_K/P = (P-P_o)/P = 1-(P_o/P) = P_K/(P_K+P_o) = 1/(1+P_o/P)$;

$\eta = f(P_K,P_o)$

Vrednosti η koda mašina sa glavnim obrtnim kretanjem su **0,75-0,85**, a sa glavnim pravolinijskim kretanjem **0,65-0,75.**



FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

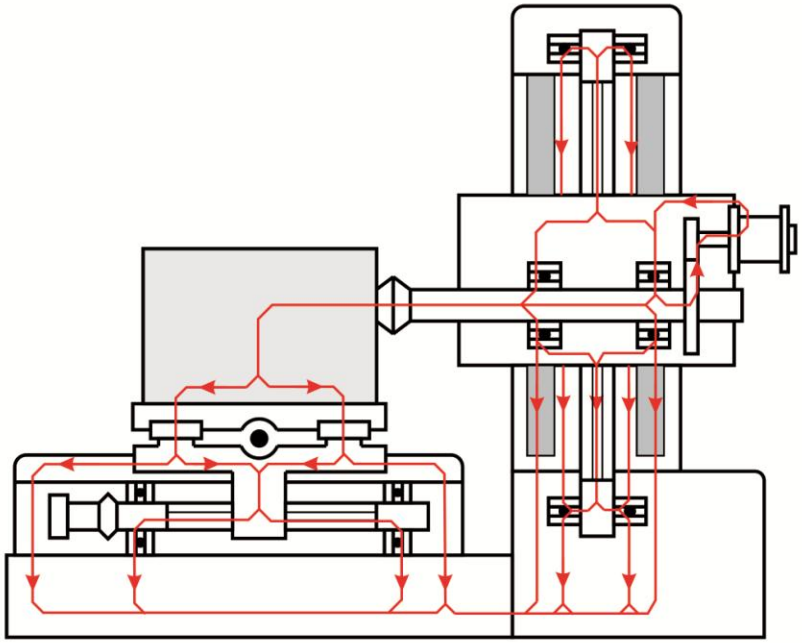
6.0 STATIČKO PONAŠANJE MAŠINA ALATKI

Osnovni pojmovi i definicija krutosti

- Krutost mehaničkog sistema se može definisati kao sposobnost sistema da prenosi opterećenja uz neznatne promene geometrije.
- Identifikovana je kao jedna od najvažnijih konstrukcionih karakteristika mehaničkih sistema. To važi i za sisteme sa visokim zahtevima za tačnošću, kao što su mašina alatke i industrijski roboti.
- Krutost se može odraziti na efekte mašina alatki zbog dinamičke stabilnosti, otpornosti na habanje, tačnosti i produktivnosti.
- Smatra se jednom od najvažnijih konstrukcionih karakteristika mašina alatki, a za razliku od drugih mehaničkih sistema, **konstrukcije mašina alatki se dimenzionišu u odnosu na kriterijume krutosti**.
- Visoka statička krutost mašine alatke je uslov za tačno održavanje položaja alata u odnosu na obradak tokom obrade i direktno utiče na dimenzionalnu tačnost izradka.

Osnovni pojmovi i definicija krutosti

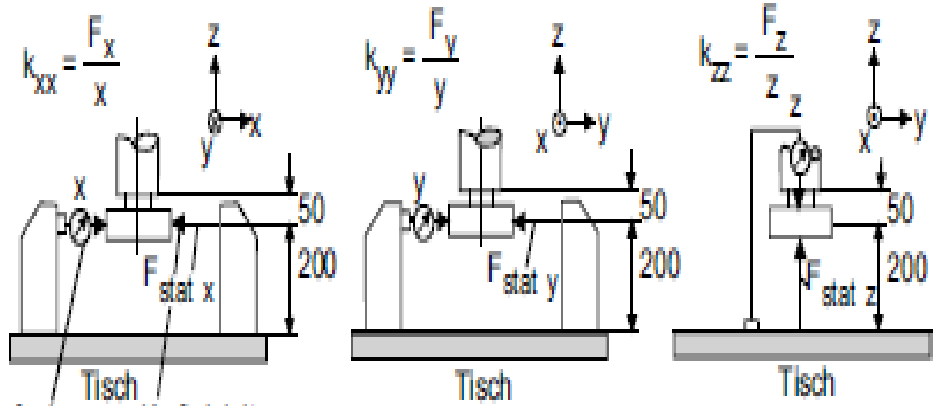
- Statičke sile koje se prostiru kroz petlju krutosti i spojeve između komponenti uzrokujući da se elementi izloženi dejstvu sile deformišu.
- Pri razmatranju statičkog ponašanja mašina alatki se definiše odziv mašine, tj. pomeraji njenih vitalnih elemenata uzrokovani dejstvom statičkih i kvazi statičkih sila.
- U cilju definisnja krutosti mašine alatke potrebno je definisati krutost vitalnih elemenata, odnosno elemenata u toku sile. Tok sila u nosećoj strukturi mašine alatke treba da je zatvoren i da su sile u statičkoj ravnoteži.



Osnovni pojmovi i definicija krutosti

- Statička krutost mašina alatki se definiše kao odnos statičke sile, koja deluje između alata i obradka u pravcu normalnom na obrađenu površinu, i elastičnog ugiba u tačaki dejstva sile.
- Sila koja deluje u jednom koordinatnom pravcu izaziva pomeranja u sva tri koordinatna pravaca, pa je krutost mašine alatke definisana matricom krutosti.
- Mašine alatke se odlikuje visokom tačnošću, čak i pri "teškim" režimima obrade. To zahteva veoma visoku krutost elemenata i noseće strukture mašine alatke.
- Krutost noseće strukture prvenstveno određuje krutost komponente (komponenti) najveće popustljivosti u toku sile.

$$\begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix}$$



Osnovni pojmovi i definicija krutosti

- Pristup razmatranju odziva mehaničkog sistema izloženog dejstvu statičkih sila može biti sa stanovišta razmatranja: naponskog i deformacionog stanja. Kod mašina alatki određuje se deformaciono stanje .
- Analiza statičkog ponašanja nekog sistema može se izvoditi analitičkim i eksperimentalnim metodama.
- Analitičke metode baziraju na poznavanju i primeni otpornosti materijala, a danas uz primenu računara koriste se i savremene numeričke metode - metod konačnih elemenata.
- U najjednostavnijem matematičkom izrazu statička krutost se može definisati i kao skalarni odnos sile i njome izazvane deformacije :

$$C=F/y$$

- Eksperimentalno ispitivanje statičkog ponašanja mašine alatke moglo bi se izvoditi pri samom procesu obrade, koji je izvor sile, uz njeno merenje, kao i merenje deformacija pojedinih elemenata mašine.
- Proces obrade je izvor i drugih poremećajnih faktora, osim statičke sile, a njegovo izvođenje praćeno je odgovarajućim troškovima **pa je zato pogodnije ispitivanje pri simulaciji procesa.**

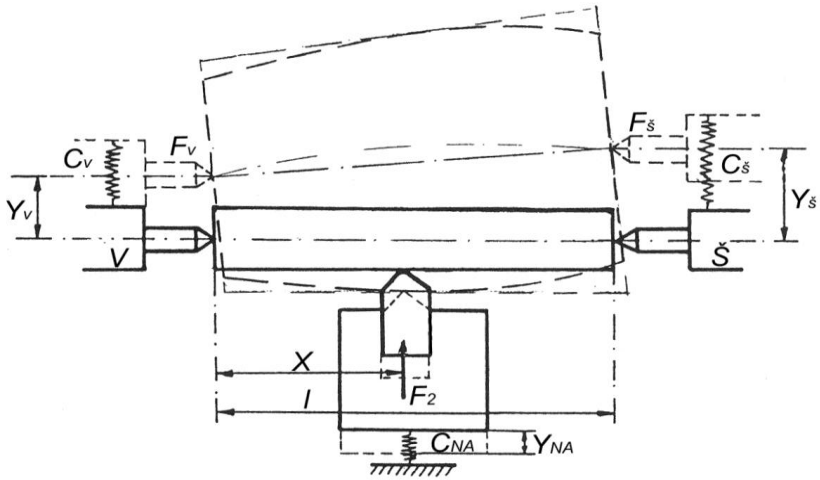
Krutost elementa mašine alatke

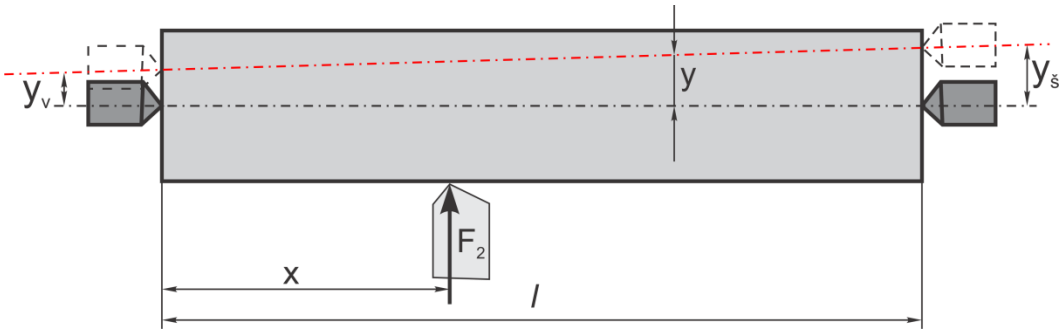
- Statička krutost mašine alatke je definisana krutošću njenih elemenata.
- S druge strane obradak ima svoju krutost, pa se, uzimajući u obzir statička krutost mašine i obradka govori o statičkoj krutosti obradnog sisitema koji se sastoji od mašine, alata, pribora i obradka (MAPO).
- Ukupno relativno pomeranje između alata i obradka je: $y = y_v + y_{NA} + y_š$

y_v – pomeranje nastalo usled deformacija vretena

y_{NA} - pomeranje nastalo usled deformacija nosača alata

$y_š$ - pomeranje nastalo usled deformacija šiljka





Krutost elementa mašine alatke

- Tačka delovanja opterećenja (F_2) se menja (uzdužno po x koordinati) i relativni uticaji elemenata sa različitim krutostima se menjaju te se njihov uticaj na ukupnu krutost ne mogu zanemariti.

- Usled delovanja sile F_2 javljaju se sile reakcije na vretenu i šiljku u obliku:

$$F_v = F_2\left(1-\frac{x}{l}\right) \qquad F_š = F_2\frac{x}{l}$$

Pomeranje ose vretena i šiljka u skladu sa njihovim krutostima C_v i $C_š$ je: $y_v = \frac{F_v}{C_v}$; $y_š = \frac{F_š}{C_š}$

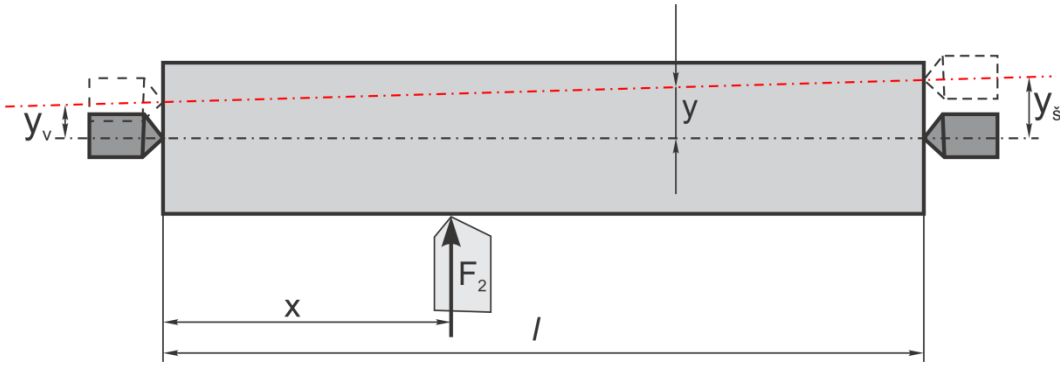
Pomeranje ose radnog predmeta u odnosu na položaj alata je :

$$y = y_v + (y_š - y_v)\frac{x}{l} = F_2\frac{C_š\left[1-(x/l)\right]^2 + C_v(x/l)^2}{C_v C_š};$$

$$\alpha = C_v / C_š$$

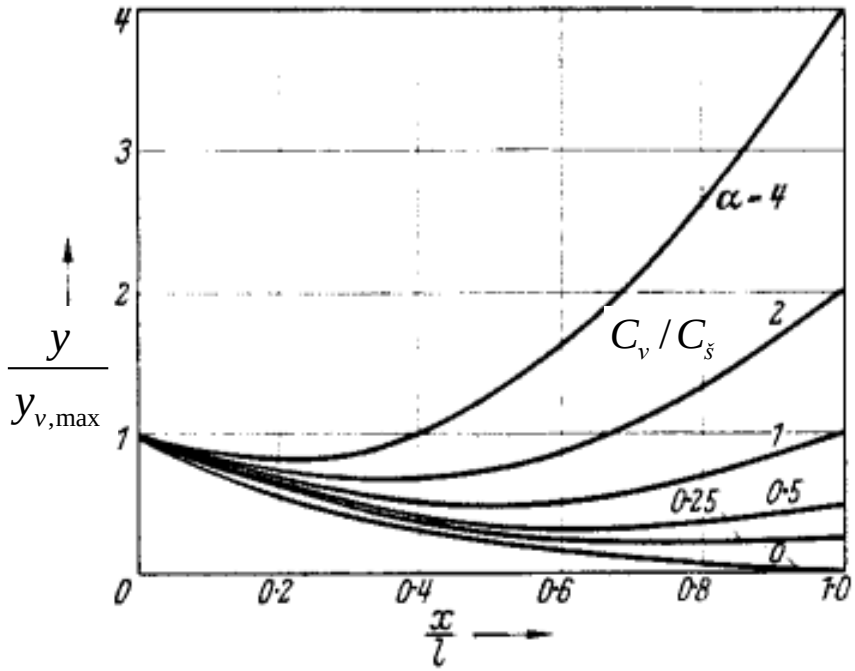
$$y = \frac{F_2}{C_v}\left[\left(1-\frac{x}{l}\right)^2 + \alpha\left(\frac{x}{l}\right)^2\right]$$

$$\frac{y}{y_{v,\max}} = \left(1-\frac{x}{l}\right)^2 + \alpha\left(\frac{x}{l}\right)^2$$



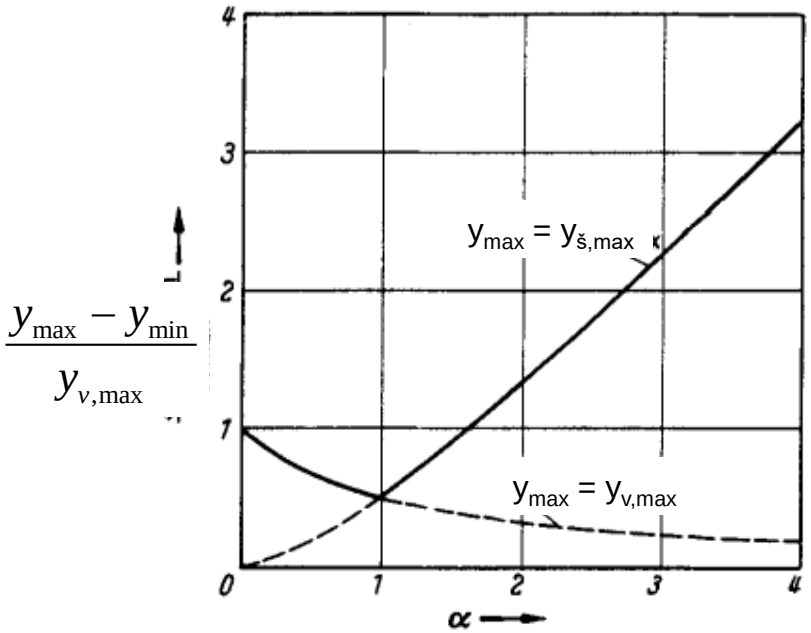
Krutost elementa mašine alatke

- Zbog pomeranja nosača alata, dolazi do promene dimenzije – prečnika, koja zavisi od razlike između maksimalnog i minimalnog pomeranja ose radnog predmeta u odnosu nosač alata.
- Usled pomeranja vrha glavnog vretena (utiče ceo sklop glavnog vretena) i zadnjeg šiljka (utiče ceo sklop konjića) takođe se menja oblik obradka, a zbog njihovih različitih vrednosti se menja i oblik obradka iz cilindra u konus.



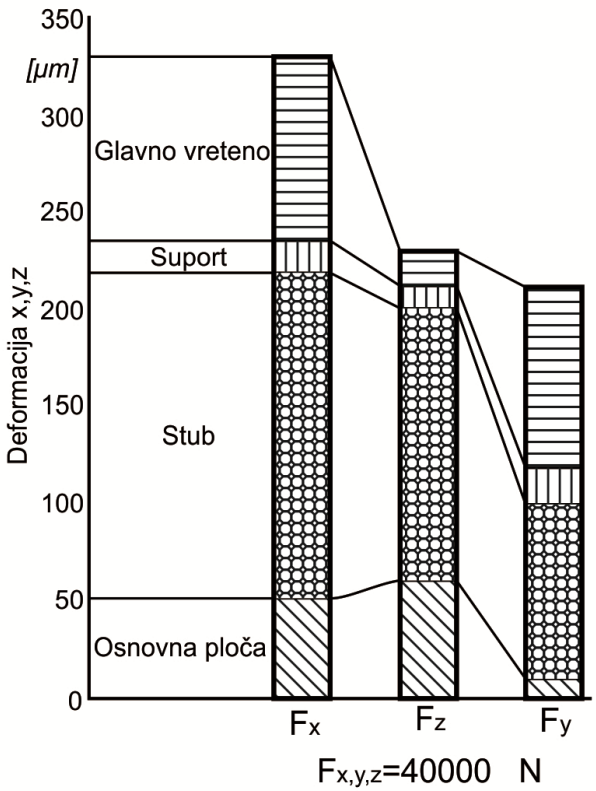
Krutost elementa mašine alatke

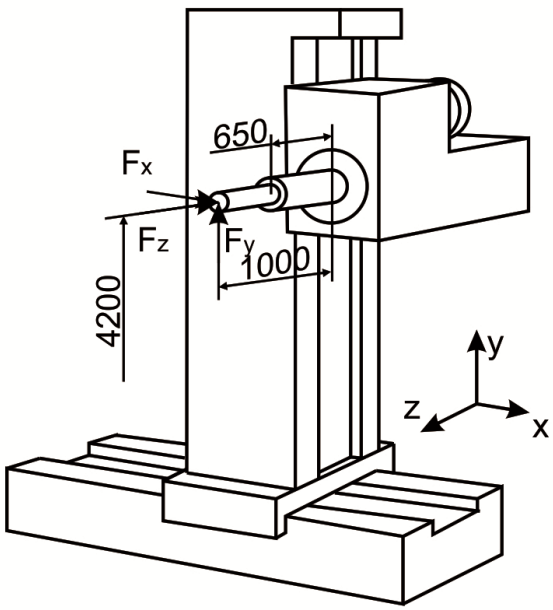
- Kada je α<1 maksimalno pomeranje se javlja y_{max} na glavnom vretenu (y_{max} = $y_{v,max}$).
- U slučaju kada je α>1, krutost sklopa šiljka je manja od krutosti vretena (najčešća varijanta), maksimalno pomeranje se javlja na šiljku (y_{max} = $y_{š,max}$).
- ***<u>Odsupanje od oblika će biti minimalno za slučaj</u>*** α=1, odnosno kada su krutosti oba elementa jednake.
- Krutosti različitih elemenata mašine moraju biti izbalansirana- velika krutost jednog elementa bi trebalo da se razlikuje za relativno malu vrednost od krutosti drugog elementa.



Krutost elementa mašine alatke

Analiza deformacija pojedinih elemenata noseće strukture horizontalne bušilice-glodalice





Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Elementi mašina alatki su opterećeni statičkim silama različitog porekla pa se pod eksperimentalnim ispitivanjem statičkog ponašanja mašina alatki podrazumeva definisanje uticaja:

- težine obradka i
- sila iz procesa rezanja na deformacije elemenata i mašine kao celine, i
- "kritičnog elementa" mašine alatke pri statičkom ili kvazi-statičkom opterećenju.

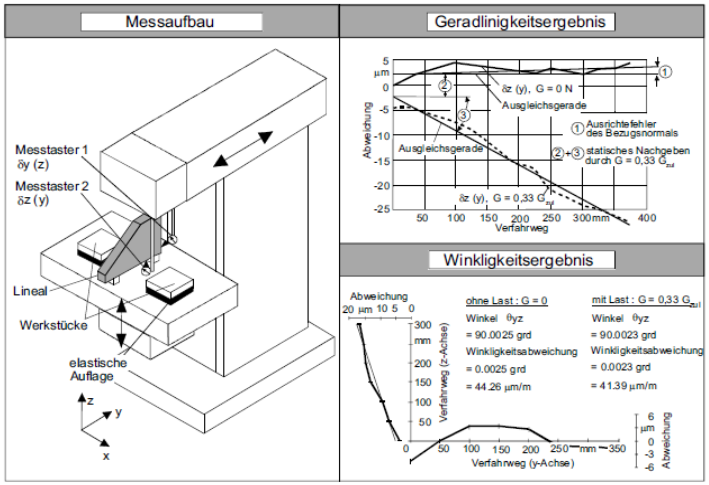
Uticaj težine obradka

- Kada je težina obradka mala u poređenju sa silom iz procesa obrade (npr. obrada na presama) ili ako je obradak mali (lake konzolne glodalice i strugovi) uticaj njegove mase se može zanemariti.
- Opterećenje struga težinom obradka uglavnom dovodi do pomeranja ose rotacije glavnog vretena, što rezultira odstupanjem od paralelnosti ose obradka i kretanja klizača u pravcu "z"-ose.

Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Uticaj težine obradka

- Opterećenje mase obratka može biti dominantno kod srednje teških i teških mašina alatki.
- Kod glodalica na primer, zbog svoje težine, obradak vrši pritisak na radni sto, koji se preko vođica i ostalih elemenata noseće strukture prenosi na temelj.
- Svi elementi noseće strukture koji se nalaze u toku sile težine obradka su manje ili više deformisani.
- Kada se radni sto kreće pomera se i vektor opterećenja mase obradka, što rezultira promenom sila i momenta reakcije na vođicama konzole na stubu mašine, što dovodi do promenljivih deformacija.



Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

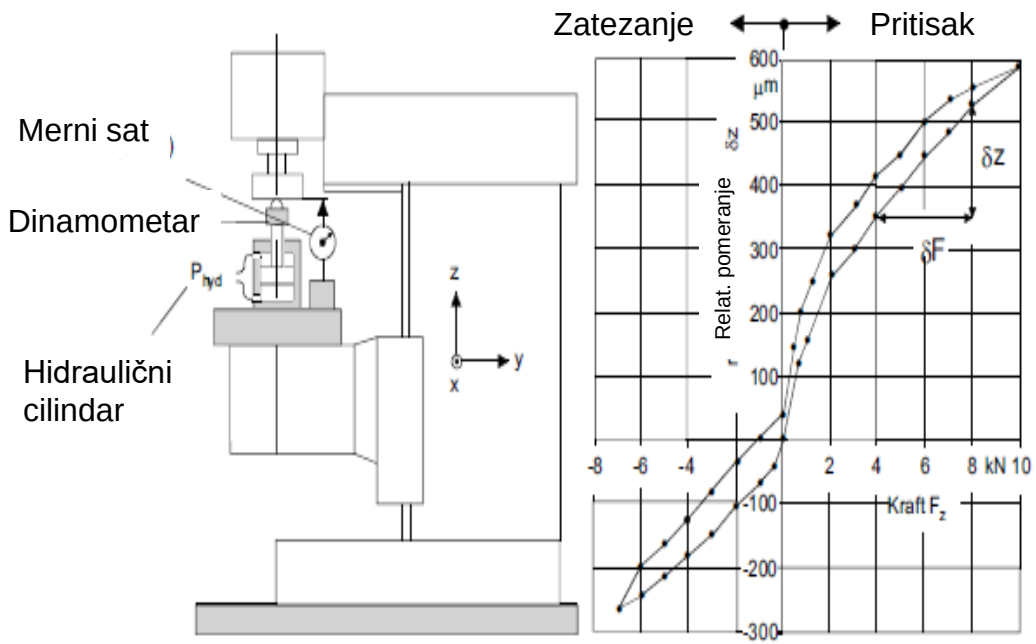
Uticaj sila (opterećenja) iz procesa obrade

- Pri definisanju statičkog ponašanja mašina alatki najčešće se misli na određivanje krutost usled sila rezanja.
- Merenje statičke krutosti nije definisano standardima.
- Postojeći nacionalni i međunarodni standardi (npr. ISO 230, ISO 10791-7, ASME B5.54) daju smernice i preciziraju metode i merne instrumente za ispitivanje i procenu tačnosti mašina alatki.
- Merenja se definišu za jedan položaj i pravac, zanemarujući karakterizaciju statičke krutosti mašine alatke u celom radnom prostoru.
- Pri merenju statičke krutosti, pomeranje (deformacija) na mestu kontakta alata i obradka se procenjuje kao rezultat simuliranog statičkog opterećenja iz procesa.

Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Uticaj sila (opterećenja) iz procesa obrade

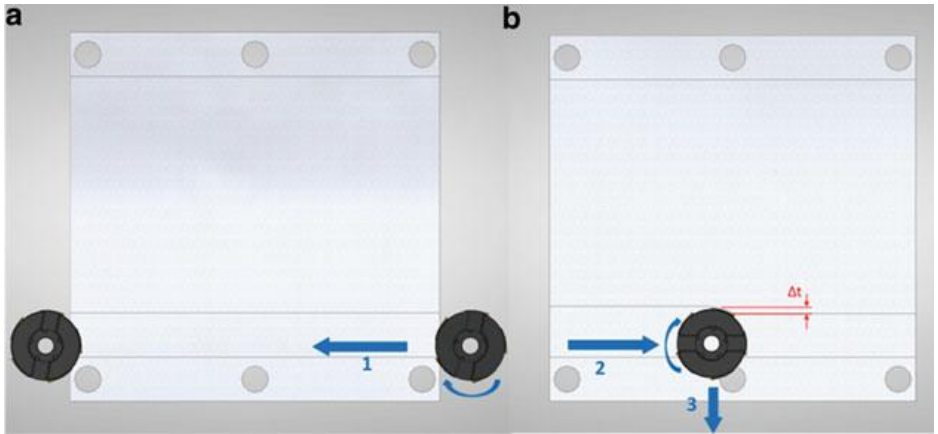
- Snimljena karakteristika predstavlja direktne statičke deformacije.
- Nakon poništavanja zazora u ležajevima, vođicama i spojevima, krutost sistema se povećava s povećanjem opterećenja. Usled promenjenih uslova kontakta u spojevima često nastaje histerezis.



Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Uticaj sila (opterećenja) iz procesa obrade

- Za ispitivanje statičke krutosti mašina alatki mogu se koristiti i opterećenja iz samog procesa rezanja.
- Obrađuju se posebno projektovani uzorci, tako projektovani da generišu unapred definisane sile tokom procesa obrade. Delovi se zatim mere i procenjuju, kako bi se izvukli zaključci o ponašanju mašine alatke.
- U slučaju ispitivanja konzolnih glodalica, ispitni obradak se obrađuje suprotmosmernim glodanjem duž jedne strane (1). Kada alat izađe iz zahvata menja se smer pomoćnog kretanja tako da se u povratnom hodu izvodi istosmerno glodanje (2). U povratnom hodu alat se zaustavlja na sredini obradka i izvlači iz zahvata (3). Razlika u obrađenoj ivici (Δt) uzima se kao mera deformacije mašine (mereno u pravcima osa X, Y i Z).



Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Eksperimentalno ispitivanje statičkog ponašanja mašine alatke moglo bi se izvoditi pri samom procesu obrade, koji je izvor sile, uz njeno merenje, kao i merenje deformacija pojedinih elemenata mašine.

- Proces obrade je izvor i drugih poremećajnih faktora, osim statičke sile, a njegovo izvođenje praćeno je odgovarajućim troškovima (energija, alat, materijal obratka itd.) pa je zato pogodnije i češće prisutno ispitivanje pri simulaciji procesa.

- Pri uzdužnoj obradi struganjem prisutni su otpori rezanja F_1, F_2 i F_3. Zbog odnosa njihovih vrednosti 5:2:1, kao i njihovog pravca i smera, uticaj komponente F_3 na tačnost obratka je zanemarljiv.

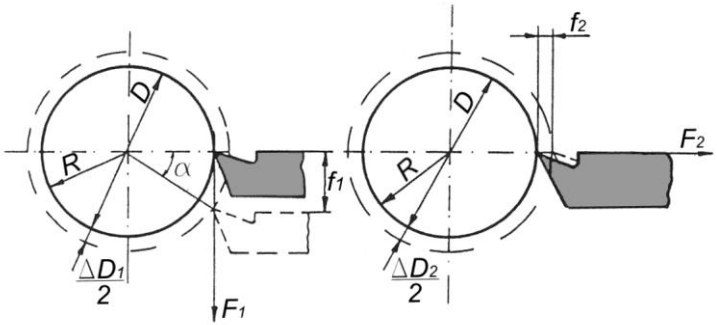
Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Promene dimenzije obratka - njegovog prečnika, zbog deformacija izazvanih silama F_1 i F_2 su prvenstveno vezane za elemente mašine: nosač alata i klizače.

Deformacije usled dejstva otpora F_1: $\Delta D_1 = 2\Delta x_1$

Deformacije usled dejstva otpora F_2 : $\Delta D_2 = 2\Delta x_2$



Prečnik obradka nakon deformacije pod dejstvom otpora F_1 i F_2 u opštem slučaju iznosi

$Di = D + 2\Delta x_1 + 2\Delta x_2$

Za slučaj dejstva otpora F_1:

$D_1 = D + 2\Delta x_1$

$(R+ \Delta x_1)^2 = R^2+\Delta z^2$; $R^2 + 2R.\ \Delta x_1 + \Delta x^2_1 = R^2 + \Delta z^2$

$2R*\Delta x_1 = \Delta z^2$; $\Delta x_1 = \Delta z^2/D$; $D_1 = D + 2\ \Delta z^2/D$

$\Delta z^2/D$ je zanemarljivo malo

Za slučaj dejstva otpora F_2

$D_2 = D + 2\Delta x_2 = 2(R+ \Delta x_2)$

$D_2 = D + 2\ \Delta x_2$

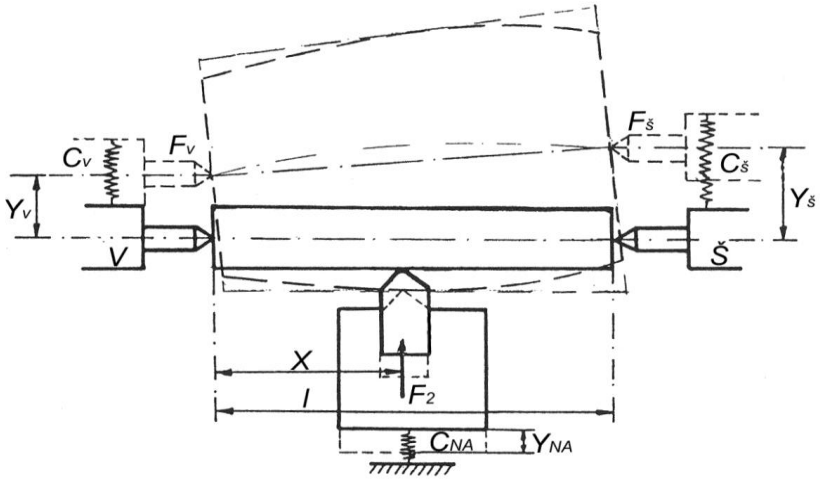
Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Uticaj dejstava sile F_2 nije zanemarljiv jer se radi o sili normalnoj na obrađenu površinu**.**
- Njihov odnos, tj. odnos netačnosti dimenzije obratka zbog prisustva otpora F_1 i F_2 je u opštem slučaju:

$$\frac{\Delta D_1}{\Delta D_2} < 0{,}01 = 1\%$$

- Najveći uticaj na tačnost obradka ima sila „otpor prodiranja-F_2“, tako da je dovoljno samo nju simulirati.

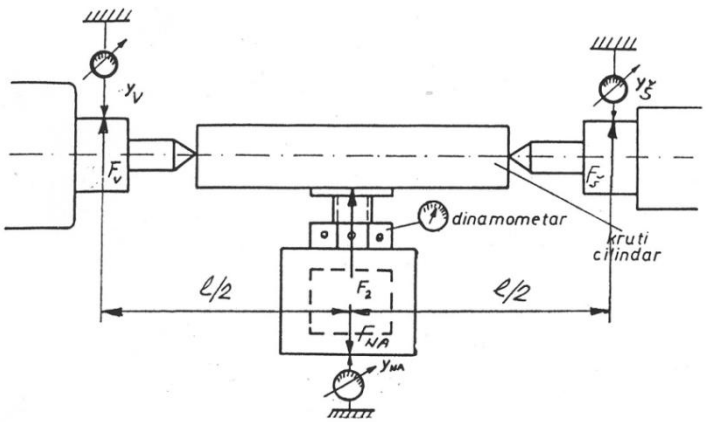


Pomeraji elemenata mašine pri dejstvu sile F_2

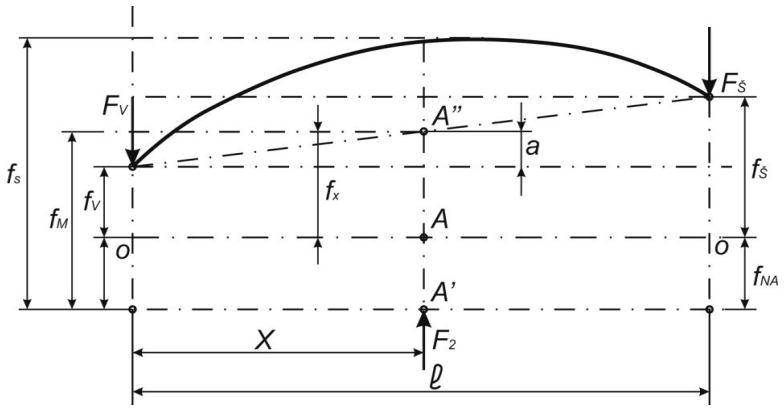
Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Da bi se izvršilo eksperimentalno ispitivanje neophodna je merna instrumentacija: dinamometar za registrovanje simulirane sile F_2 i merni satove (komparatore) za registrovanje pomeranja tri vitalna elementa najuticajnija na tačnost obradka.



Dispozicija merenja statičke krutosti struga



Parametri određivanja statičke krutosti struga

- U neopterećenom stanju mašine, izvodnica cilindričnog obradka je paralelna osi mašine i označena je linijom 0-0. Na njoj se nalazi tačka dodira vrha alata i radnog predmeta - A.

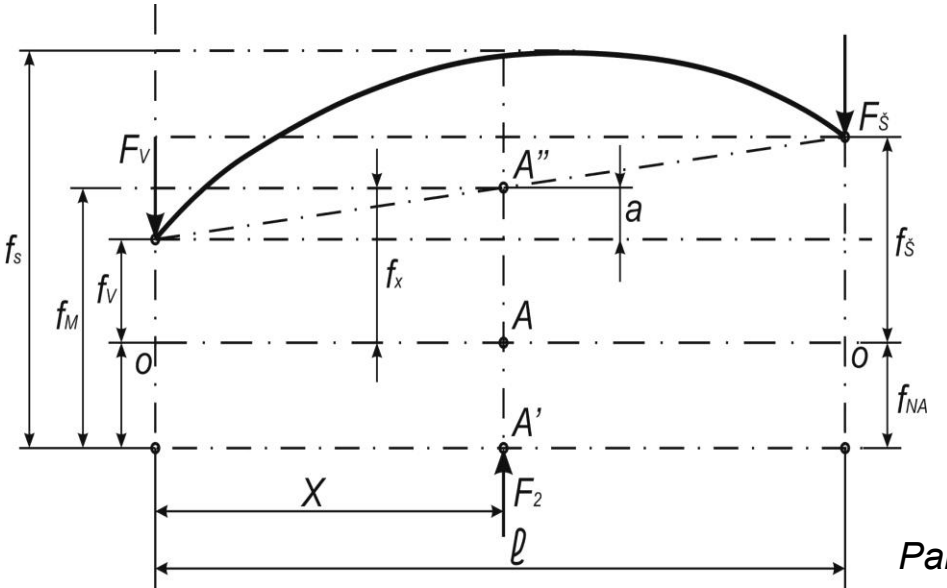
Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Pri dejstvu sile (F_2), vrh alata se usred deformacije njegovog nosača pomera za f_{NA}, u položaj A'. Istovremeno se i tačka A koja pripada radnom predmetu pomerila u poziciju , tj. za vrednost f_x, kao posledice deformacije sklopa glavnog vretena f_v (levog oslonca) i deformacije sklopa šiljka konjica $f_š$ (desnog oslonca).

- Ukupno razdvajanje od prethodno zajedničke tačke A zbog dejstva sile F_2 iznosi: $f_M = f_{NA} + f_X$. Pri tome je:

$$f_X = f_V + a \; ; \; a = (f_š - f_V) * x/l$$



Parametri određivanja statičke krutosti struga

Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Deformacije mašine, a samim tim i njena krutost zavisi od rastojanja dejstva sile od vrha vretena *x*, unutar raspona šiljaka *l.*

- Kada se statička krutost struga želi izraziti jednom brojnom vrednošću usvaja položaj sile na polovini raspona šiljaka, tj. *x=l/2.* U tom slučaju je:

$$f_X = \frac{\left(f_v + f_{\check{S}}\right)}{2} \qquad f_M = \frac{f_{NA} + \left(f_V + f_{\check{S}}\right)}{2}$$

$$\frac{F_2}{C_m} = \frac{F_{NA}}{C_{NA}} + \left(\frac{F_V}{C_V} + \frac{F_S}{C_S}\right)$$

- Statička krutost mašine (u obliku njene recipročne vrednosti - popustljivosti) se može odrediti uz poznate krutosti nosača alata, sklopa glavnog vretena i sklopa šiljka konjica. Njihovi izrazi su:

$$C_{NA} = \frac{F_{NA}}{f_{NA}} = \frac{F_2}{f_{NA}}; \qquad C_V = \frac{F_V}{f_V} = \frac{F_2}{2 f_V}; \qquad C_{\check{S}} = \frac{F_{\check{S}}}{f_{\check{S}}} = \frac{F_2}{2 f_{\check{S}}}$$

Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Deformacije mašine, a samim tim i njena krutost zavisi od rastojanja dejstva sile od vrha vretena *x*, unutar raspona šiljaka *l.*

- Kada se statička krutost struga želi izraziti jednom brojnom vrednošću usvaja položaj sile na polovini raspona šiljaka, tj. *x=l/2.* U tom slučaju je:

$$f_X = \frac{\left(f_v + f_{\check{S}}\right)}{2} \qquad f_M = \frac{f_{NA} + \left(f_V + f_{\check{S}}\right)}{2}$$

$$\frac{F_2}{C_m} = \frac{F_{NA}}{C_{NA}} + \left(\frac{F_V}{C_V} + \frac{F_S}{C_S}\right)$$

- Statička krutost mašine (u obliku njene recipročne vrednosti - popustljivosti) se može odrediti uz poznate krutosti nosača alata, sklopa glavnog vretena i sklopa šiljka konjica. Njihovi izrazi su:

$$C_{NA} = \frac{F_{NA}}{f_{NA}} = \frac{F_2}{f_{NA}}; \qquad C_V = \frac{F_V}{f_V} = \frac{F_2}{2 f_V}; \qquad C_{\check{S}} = \frac{F_{\check{S}}}{f_{\check{S}}} = \frac{F_2}{2 f_{\check{S}}}$$

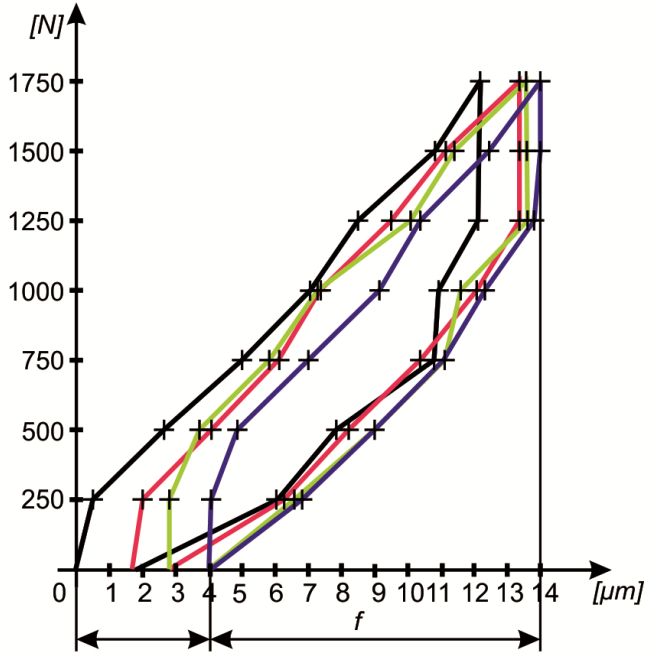
Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Krutost navedenih vitalnih elemenata mašine određeni su izmerenom silom F_2, ali ostaje problem njihovih deformacija - *f*.
- To je zbog činjenice da su svi oni projektovani kao pokretni sklopovi, pa u njima postoji određeni zazor.
- Usled toga se pri mora utvrditi zavisnost između statičke sile i odgovarajućeg pomeraja u više zatvorenih ciklusa opterećenje - rasterećenje.

Zbog izraženog histerezisa, tj. ,,zaostajanja" u toku rasterećenja, ova karakteristika se naziva i histerezis - dijagram.

Veličina histerezisa zavisi od kvaliteta sklopova mašine, a u prvom redu od kvaliteta naležućih površina.



Statička karakteristika struga PA 22

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

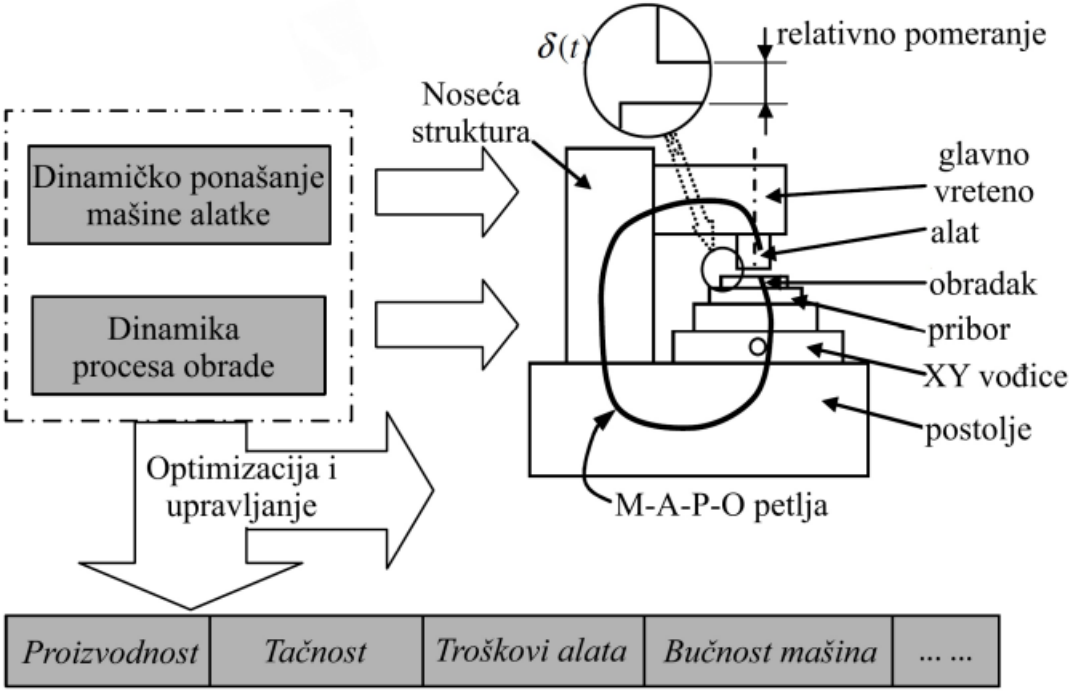
7.0 DINAMIČKO PONAŠANJE MAŠINA ALATKI

Uvodne napomene

- Pri radu mašine se javljaju sile promenljivog intenziteta u vremenu, tj. dinamičke sile. One su prisutne čak i pri radu u praznom hodu, uz dodatne koje nastaju u procesu rezanja.
- Može se desiti da i mašina velike statičke krutosti u uslovima eksploatacije ne zadovoljava zahtevanu tačnost izradaka. Razlog ovome je što na promenu položaja elemenata mašine u neopterećenom stanju, osim intenziteta sile utiče i brzina promene tokom vremena, tj. učestanost ili frekvencija.
- Trenutni trendovi u oblasti razvoja mašina alatki zahtevaju od projektanata da se koncentrišu ne samo na optimizaciju mašine alatke u smislu maksimalnih brzina i tačnosti, već da u obzir uzimaju i njihovo dinamičko ponašanje pri procesu rezanja.
- Savremene mašine alatke moraju biti sistemi sa dominantnim dinamičkim karakteristikama, kako bi odgovorile zahtevima u pogledu proizvodnosti, tačnosti i pouzdanosti.

Uvodne napomene

- Potrebno je optimizovati i sistem MAPO i proces obrade u smislu povećanja dinamičke stabilnosti.
- Dinamičke karakteristike mašine alatke i dinamika procesa rezanja predstavljaju dva integrisana elementa koja se istovremeno moraju uzeti u obzir pri optimizaciji obradnih sistema prema zahtevima savremene industrije.



Uvodne napomene

- Dinamičko ponašanje obradnih sistema, koje je definisano intenzitetom i karakterom vibracija u toku izvođenja obradnih procesa, ima znatan negativan uticaj na:
  - ✓ smanjenja tačnosti obrade i kvaliteta obrađene površine,
  - ✓ značajnog povećanja habanja reznog alata,
  - ✓ pojave oštećenja mašine alatke i/ili njenih elemenata,
  - ✓ smanjenja proizvodnosti,
  - ✓ povećanja troškova usled rasta vremena obrade,
  - ✓ gubitaka u materijalu i energiji,
  - ✓ dodatnih troškove recikliranja ili dorade neadekvatno obrađenih delova – škarta,
  - ✓ pojave intezivne buke u procesu rezanja, itd.
- Preko dinamičkog ponašanja definiše se i dinamički kvalitet obradnog sistema, i to preko dinamičke stabilnosti i dinamičke krutosti dinamičkog sistema, kao jednog od osnovnih poremećajnih sistema u okviru obradnog sistema.

Uvodne napomene

- U cilju smanjenja negativnih uticaja pojave vibracija u procesu rezanja, potrebno je, na bazi dinamičkih karakteristika mašine alatke i dinamike procesa rezanja, detektovati i analizirati tipove i izvore vibracije koje se javljaju pri radu mašine alatke.
- Vibracije se, po izvoru pobude, mogu podeliti na ***slobodne, prinudne i samopobudne vibracije.***
- Dinamičko ponašanje mašine alatke se može razmatrati sa tri stanovišta:

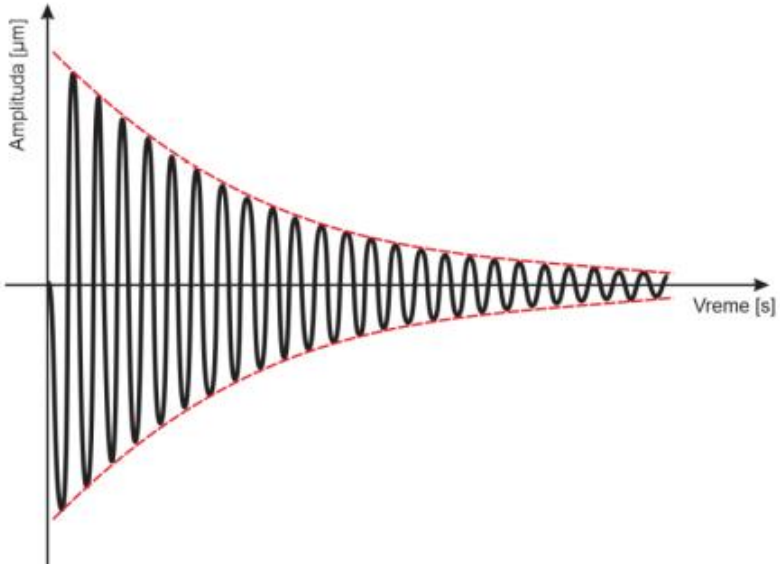
  a) *mašina ne radi, ali je bila izložena dejstvu dinamičkih sila - slobodne (sopstvene, prirodne) vibracije;*

  b) *mašina radi u praznom hodu - prinudne vibracije;*

  c) *mašina je u eksploataciji, na njoj se izvodi proces rezanja - samopobudne vibracije*

Uvodne napomene

- **Sopstvene vibracije** nastaju kada se mehaničkom sistemu, izvedenom iz svog ravnotežnog položaja, omogući slobodno oscilovanje bez spoljašnjih uticaja.
- Osnovna odlika ovog tipa vibracija je da im se amplituda, nakon prestanka delovanja pobude koja ih izaziva, eksponencijalno smanjuje do potpunog iščezavanja u zavisnosti od prigušenja.

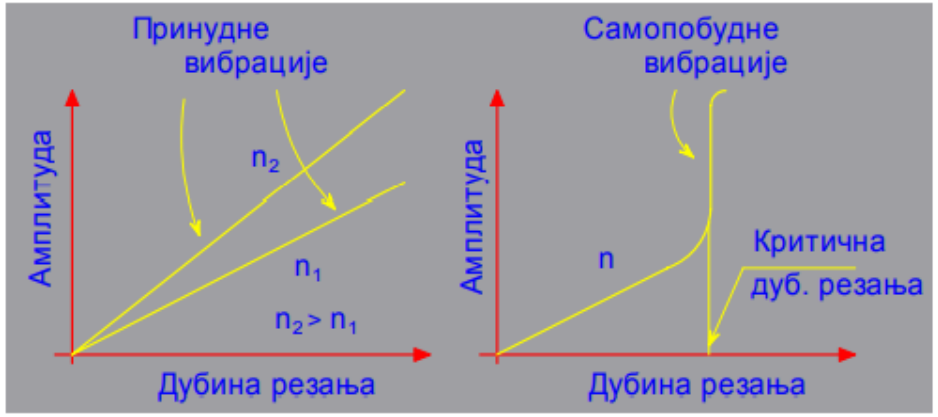


Uvodne napomene

- **Prinudne vibracije** u obradnim sistemima nastaju usled neuravnoteženosti obrtnih masa, promenljivog karaktera sila rezanja (npr. ožljebljenog vratila, kada alat naizmenično ulazi i izlazi iz zahvata obrade) i dr.
- Slobodne i prinudne vibracije, ukoliko je poznat njihov izvor, mogu se efikasno izbeći, redukovati ili ukloniti iz procesa obrade
- **Samopobudne vibracije** predstavljaju najnepovoljniji tip vibracija, koje energiju za svoj nastanak i rast amplitude crpe iz samog procesa rezanja.
- Ove vibracije često dovode do nestabilnog rada mašine alatke, a za posledicu imaju smanjenje kvaliteta obrađene površine, pojavu buke, ubrzano trošenje alata i elemenata mašine alatke
- Poremećajna sila F(y,t) ne zavisi samo od y i t, već pri vibracijama mašinskog sistema predstavlja funkciju geometrije alata, materijala obratka, parametara procesa rezanja, kao i funkciju dinamičkog stanja same mašine alatke.

Uvodne napomene

- Pojava samopobudnih vibracija karakteriše se:
  - ✓ naglim porastom amplituda vibracija sa frekvencom koja je bliska jednoj od sopstvenih frekvenci,
  - ✓ promenom u smislu povećanja buke u zoni rezanja,
  - ✓ promenom oblika strugotine, i
  - ✓ naglim pogoršanjem kavliteta obrađene površine,
- U zavisnosti od odnosa dinamičkih parametara sistema, za neku kritičnu dubinu rezanja amplituda vibracija ima nagli porast, što karakteriše početak nastanka samopobudnih vibracija.

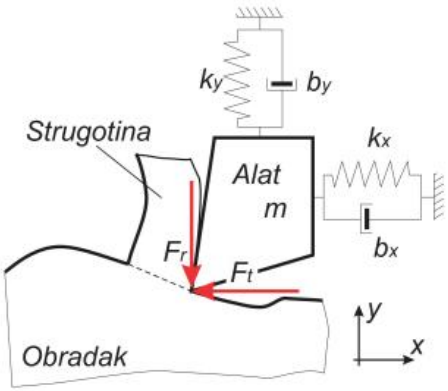


Zavisnost amplituda vibracija od dubine rezanja za prinudne i samopobudne vibracije

Uvodne napomene

Samopobudne vibracije se mogu podeliti na:

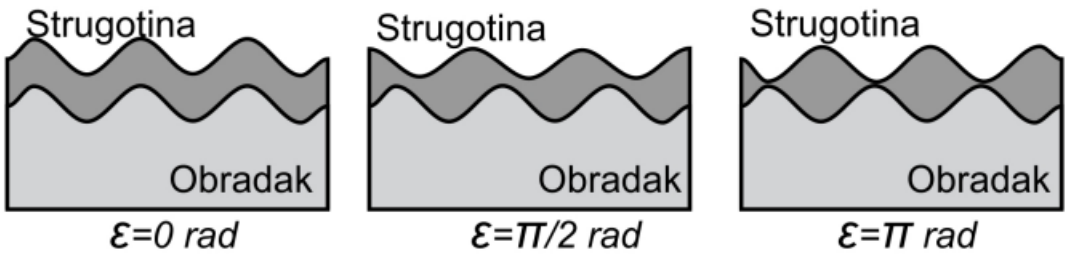
- *Frikcione samopobudne vibracije* – ovaj tip vibracija nastaje usled trenja između leđne površine alata i obratka, koje izaziva oscilovanje alata u pravcu glavne sile rezanja.
- *Samopobudne vibracije nastale usled sprezanja položaja* – ove vibracije se javljaju kada oscilovanje alata u pravcu sile prodiranja generiše i njegovo oscilovanje u pravcu glavne sile rezanja, i obratno.
  - ✓ Ova pojava dovodi do istovremenih oscilacija alata i u pravcu sile prodiranja i u pravcu glavne sile rezanja ali sa različitim amplitudama, te zbog toga putanja vrha alata pri oscilovanju ima oblik elipse.
  - ✓ U fizičkom smislu, ovu pojavu izaziva više uzroka, kao npr. trenje na grudnoj i leđnoj površini alata, variranje debljine strugotine tokom rezanja, itd.



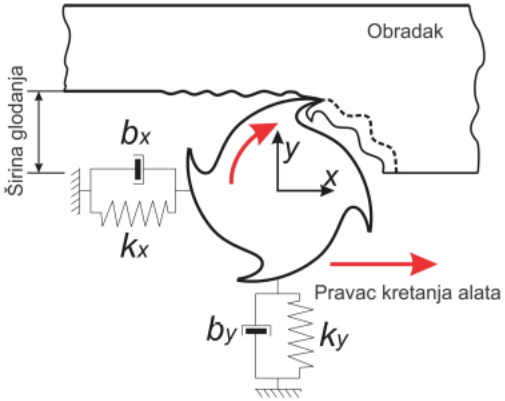
Model samopobudnih vibracija nastalih usled sprezanja položaja

Uvodne napomene

- *Samopobudne vibracije nastale usled regenerativnog efekta* – nastaje kada alat obrađuje površinu koja je već obrađena u prethodnom obrtaju (kod struganja) ili prethodnim zubom (kod glodanja).
- Zbog toga talasastost obrađene površine nastala u jednom prolazu alata usled njegovog oscilovanja, u svakom sledećem prolazu raste, povećavajući pri tom i amplitudu oscilovanja alata sve do nastanka samopobudnih vibracija.
- Debljina strugotine, a time i sila rezanja, varira usled fazne razlike u talasastosti obrađenih površina dobijenih prvim i drugim zubom alata. *Varijacije sile rezanja izazvane promenom debljine strugotine, mogu dovesti do povećanja amplitude oscilovanja alata, a time i do nastanka samopobudnih vibracija.*



Uticaj fazne razlike talasastosti obrađene površine (ε) na promenu debljine strugotine



Regeneracija talasastosti površine obratka na modelu glodanja sa dva stepena slobode

Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

- Mašinski sistem - mašina, alat, pribor, obradak (MAPO), predstavlja u realnim uslovima dinamički sistem sa beskonačno mnogo stepeni slobode.
- Proračun dinamičkih karakteristika i određivanje dinamičkog ponašanja jednog obradnog sistema moguće je ostvariti na dva načina, *eksperimentalnim ispitivanjem ili matematičkim modelovanjem*, najčešće primenom metode konačnih elemenata.
- Određivanje dinamičkih karakteristika sistema eksperimentalnim ispitivanjima, zasniva se na određivanju funkcije frekventnog odziva (FRF) ili funkcije prenosa sistema (TF).
- Osnovna ideja je da se struktura mašine pobudi silom određene frekvencije na određenom mestu, a da se prati dinamički odziv sistema na istom ili nekom drugom mestu.
- Pobuda sistema može biti ostvarena primenom sinusne ili impulsne sile, a odziv sistema se meri odgovarajućim senzorima (davačima urzanja, brzine ili pomeranja).

Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

- Mašinski sistem - mašina, alat, pribor, obradak (MAPO), predstavlja u realnim uslovima dinamički sistem sa beskonačno mnogo stepeni slobode.
- Proračun dinamičkih karakteristika i određivanje dinamičkog ponašanja jednog obradnog sistema moguće je ostvariti na dva načina, *eksperimentalnim ispitivanjem ili matematičkim modelovanjem*, najčešće primenom metode konačnih elemenata.
- Određivanje dinamičkih karakteristika sistema eksperimentalnim ispitivanjima, zasniva se na određivanju funkcije frekventnog odziva (FRF) ili funkcije prenosa sistema (TF).
- Osnovna ideja je da se struktura mašine pobudi silom određene frekvencije na određenom mestu, a da se prati dinamički odziv sistema na istom ili nekom drugom mestu.
- Pobuda sistema može biti ostvarena primenom *sinusne ili impulsne sile*, a odziv sistema se meri odgovarajućim senzorima (davačima urzanja, brzine ili pomeranja).

Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

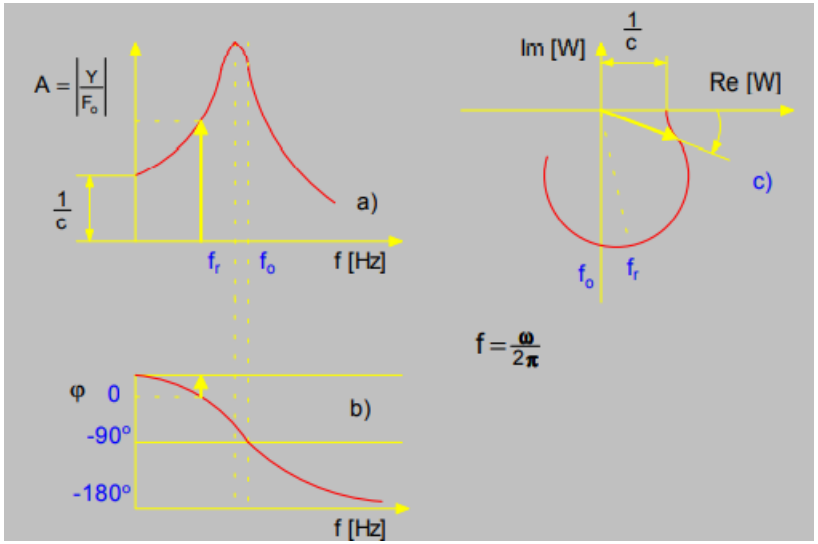
- Eksperimentalnim metodama ispitivanja snimaju se frekventne karakteristike sistema, i to:

  a) amplitudno - frekventna,

  b) amplitudno - fazna, i

  c) fazno - frekventna karakteristika.

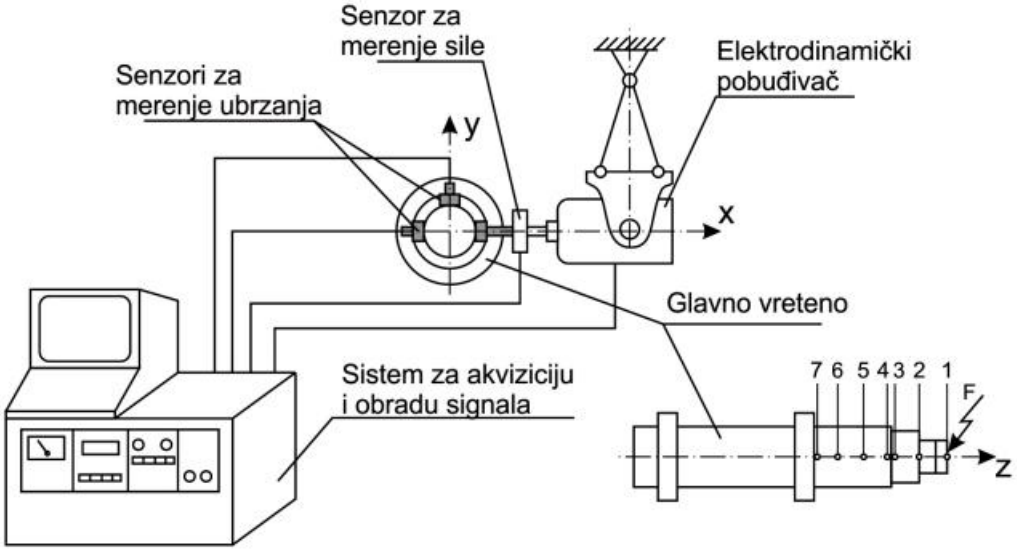
- Ove karakteristike se snimaju pri uvođenju u sistem dinamičke pobudne sile (sinusne ili implusne) u određenom frekventnom opsegu.



Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

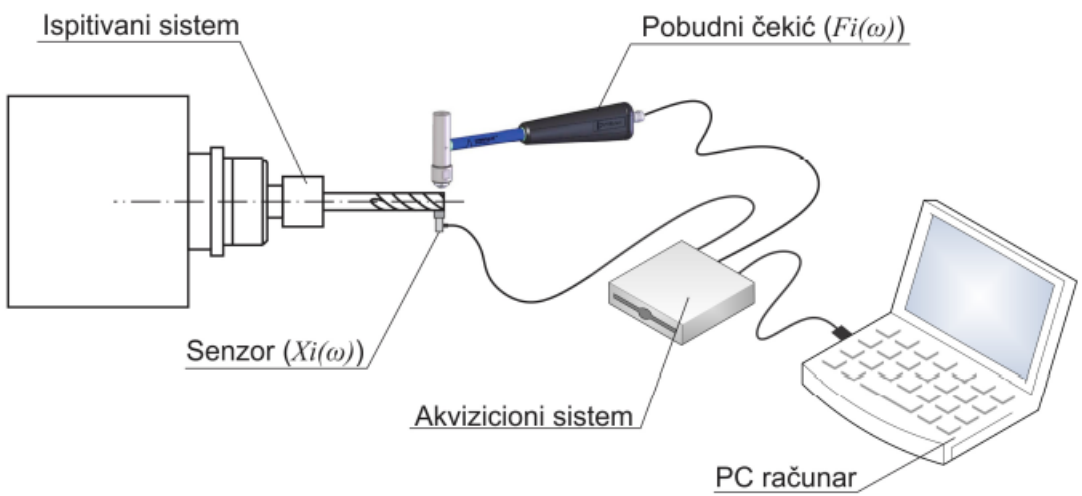
- Metoda sinusne pobudne sile se zasniva na primeni elektromagnetnih ili hidrauličnih vibracionih pobuđivača. Metodologija ispitivanja se zasniva na činjenici da uvođenjem harmonijske pobude određene frekvencije u sistem, posle izvesnog vremena nastaje stacionarno stanje, pri čemu je izlazna karakteristika takođe harmonijska, sa istom frekvencijom kao i pobuda ali sa različitom fazom i amplitudom.

- Snimanje frekventnih karakteristika u odabranom frekventnom opsegu vrši se pri stupnjevitoj ili kontinualnoj promeni frekvencije pobudne sile i merenjem amplitude pomeraja i faznog ugla u odnosu na pobudnu silu.



Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

- Drugi način ispitivanja mehaničkih sistema je pomoću Furijeove (Furier) analize, gde se, primenom **impulsne** sile, ostvaruje pobuda sistema širokim spektrom različitih frekvencija u samo jednom ispitivanju.
- Osnovna ideja je da se Furijerove transformacije primene na ulazni i izlazni signal kako bi se definisao kompletan frekventni odziv sistema u jednom ispitivanju.
- Ovaj metod je široko primenjivan u ispitivanjima pri kojima se analizirana struktura pobuđuje u nekoj tački pobudnim čekićem a odziv sistema se meri u istoj ili nekoj drugoj tački, najčešće senzorima ubrzanja.



Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

Dinamička krutost

- Na osnovu snimljenih frekventnih karakteristika dinamičkog sistema mogu se odrediti njegovi parametri: ***masa, krutost i prigušenje.***
- Parametri dinamičkog sistema se određuju posebno za svaki stepen slobode po sledećim formulama, i to:

Masa sistema:

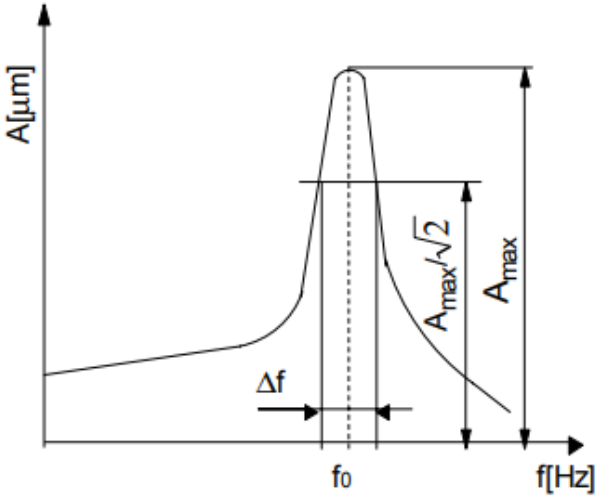
$$m = \frac{F_0 Q}{A_{max} (2\pi f)_0^2}$$

Prigušenje sistema:

$$b = \frac{F_0}{A_{max} 2\pi^2 f_0}$$

Krutost sistema:

$$c = \frac{F_0 Q}{A_{max}}$$



F_o [N] - amplituda pobudne sinusne sile;

A_{max} [µm] - maksimalna amplituda odgovarajućeg stepena slobode iz amplitudno - frekfentne ili amplitudno- fazne karakteristike;

f_o [Hz] - sopstvena frekfencija koja se u eksperimentima uzima približno kao rezonantna frekfencija;

Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

Dinamička krutost

Q - *dinamički faktor pojačanja* koji se određuje iz izraza:

$$Q = \frac{1}{D}$$

gde je D - *dinamički faktor prigušenja* i određuje se prema metodi √2

$$D = \frac{\Delta f}{2 f_0}$$

Konačno, kao jedan od najvažnijih pokazatelja kvaliteta obradnih sistema definiše se i ***dinamička krutost*** u rezonansi, kao:

$$c_{din} = \frac{F_0}{A_{\max}} = \frac{c}{Q}$$

Dinamička krutost pokazuje koliko je maksimalno moguće smanjenje statičke krutosti sistema u dinamičkim uslovima eksploatacije obradnih sistema.

Visoka dinamička krutost se postiže ako je frekvencija izazvanih vibracija manja ili veća od frekvencije sopstevnih vibracija i ako je faktor prigušenja što veći.

Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

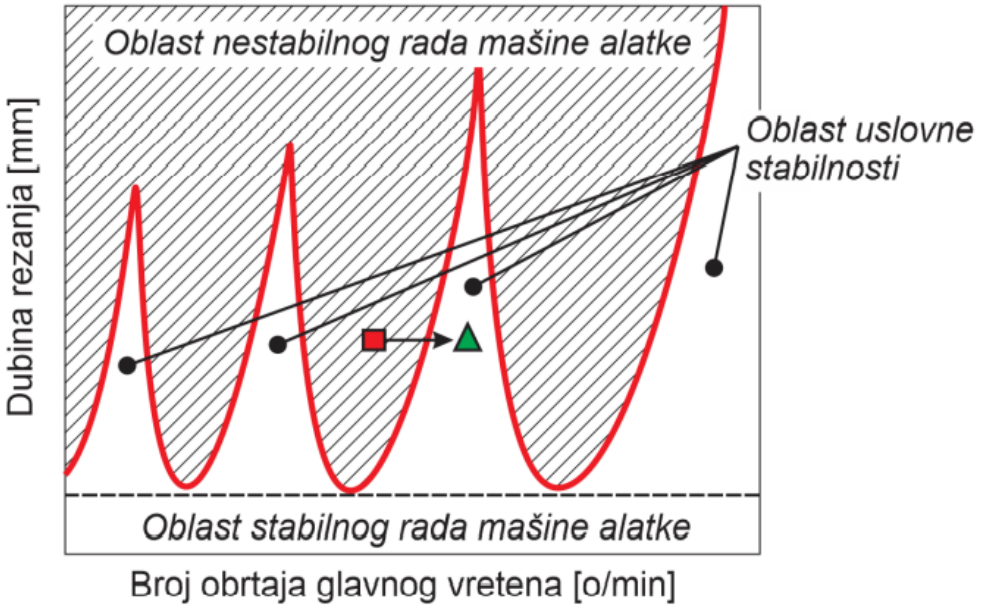
Dinamička stabilnost

- Pojava samopobudnih vibracija pri rezanju predstavlja kriterijum za utvrđivanje početka nestabilnog rada obradnog sistema.
- Eksperimentalno ispitivanje samopobudnih vibracija najčešće se sprovodi iz dva razloga, u cilju verifikacije razvijenih matematičkih i numeričkih modela za definisanje karte stabilnosti, ili u cilju definisanja eksperimentalne karte stabilnosti.
- U oba slučaja primenjuju se iste metode eksperimentalnog ispitivanja, sa tom razlikom da je za definisanje eksperimentalne karte stabilnosti potreban značajno veći broj ponavljanja eksperimenta nego u slučaju verifikacije razvijenih modela za definisanje karte stabilnosti.
- Svrha ispitivanja samopobudnih vibracija je određivanje početka nestabilnog rada mašine, što je definisano tzv. ***kartom stabilnosti*** .

Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

Dinamička stabilnost

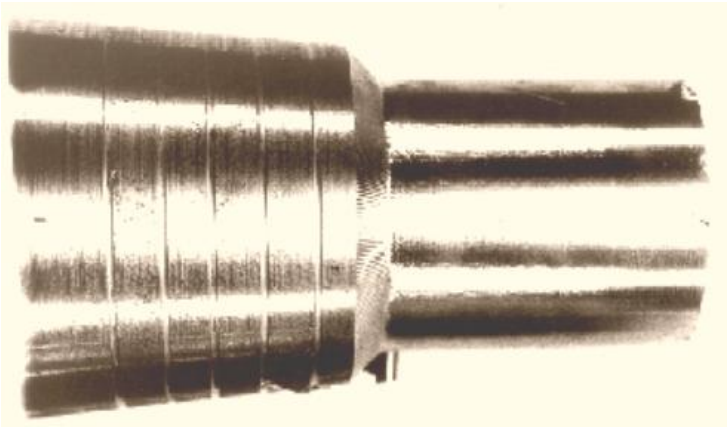
- Pri određenim režimima rezanja, obično pri malim dubinama rezanja, samopobudne vibracije ne nastaju, a sam proces rezanja se smatra stabilnim. Međutim, pri rezanju dubinama većim od granične, pomenute vibracije nastaju i brzo rastu, a proces obrade prelazi u nestabilno područje.
- Između stabilnog i nestabilnog procesa rezanja postoji jasna granica, koja se može prikazati u zavisnosti od broja obrtaja glavnog vretena i dubine rezanja na karti stabilnosti.

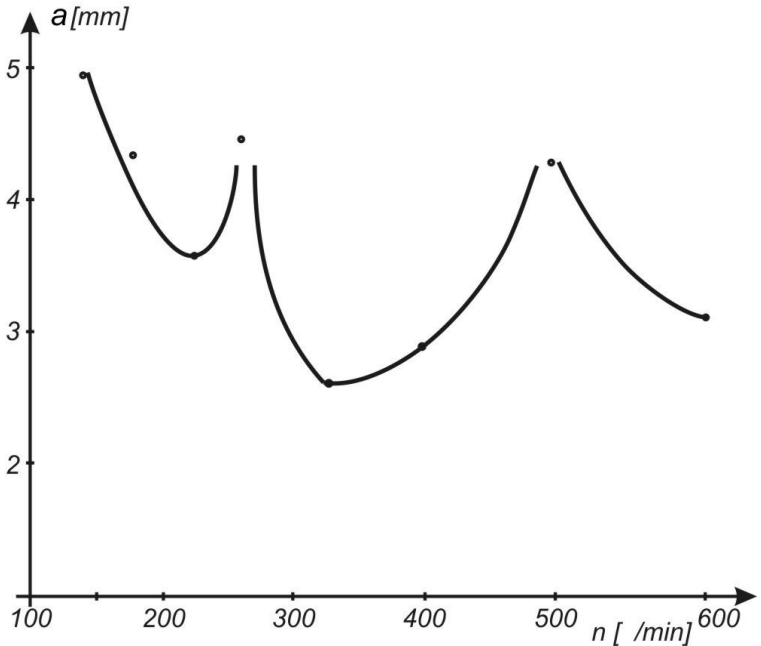


Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

Dinamička stabilnost

- Pri eksperimentalnom određivanju karte stabilnosti u vidu tzv. lepezastog dijagrama, treba izvoditi obradu sa promenom parametara režima rezanja.
- Kod obrade struganjem to su: dubina rezanja, broj obrtaja pri konstantnom pomaku. Orada se izvodi pri rezanju konusa, čime se obezbeđuje promena dubine rezanja.
- Pri tome se registruje veličina amplitude vibracije. Dubina rezanja pri kojoj se registruje nagli porast amplitude, smatra se graničnom za pojavu samopobudnih vibracija, za taj pomak i broj obrtaja.

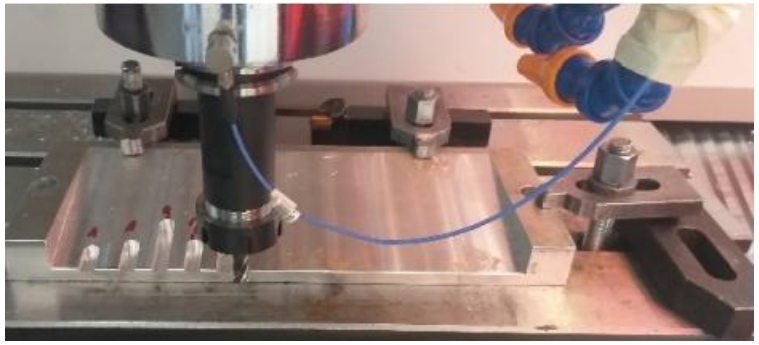


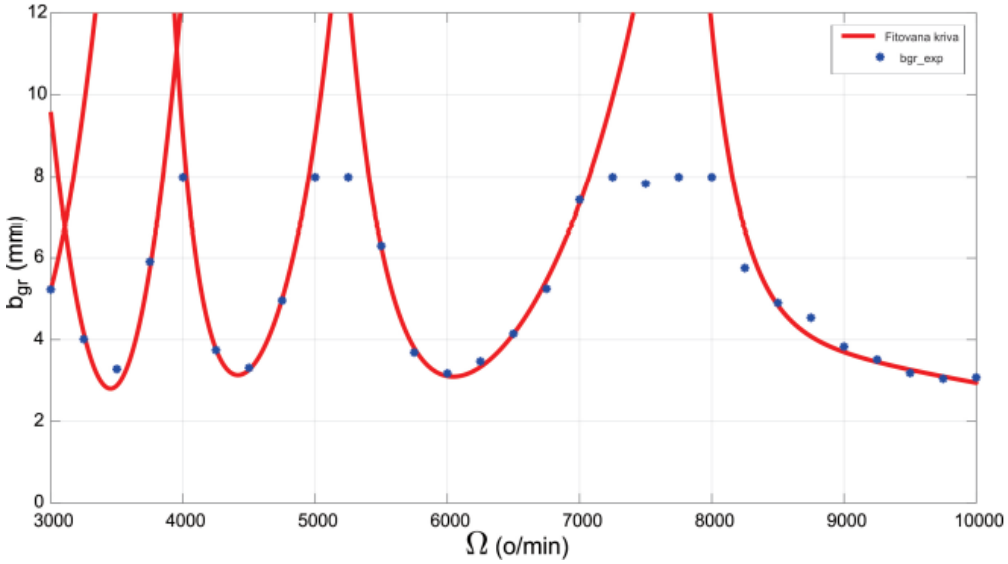


Eksperimentalna identifikacja dinamičkih karakteristika

Dinamička stabilnost

- Kod obrade glodanjem to su: dubina rezanja, broj obrtaja pri konstantnoj brzini pomoćnog kretanja. Orada se izvodi na radnom predmetu sa zakošenom gornjom površinom, čime se obezbeđuje promena dubine rezanja.
- Pri tome se registruje veličina amplitude vibracije. Dubina rezanja pri kojoj se registruje nagli porast amplitude, smatra se graničnom za pojavu samopobudnih vibracija, za izabranu brzinu pomoćnog kretanja i broj obrtaja.



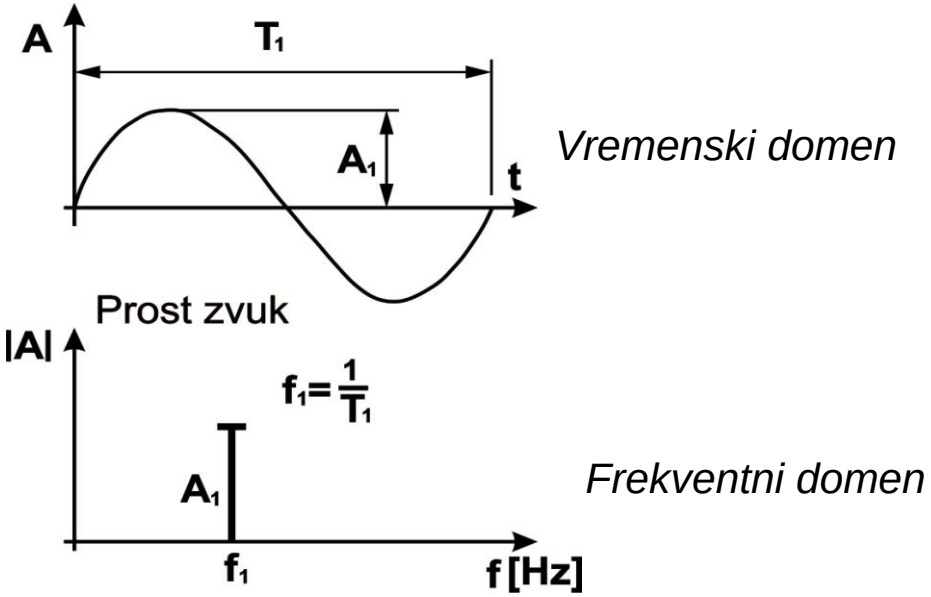


FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

8.0 BUKA KOD MAŠINA ALATKI

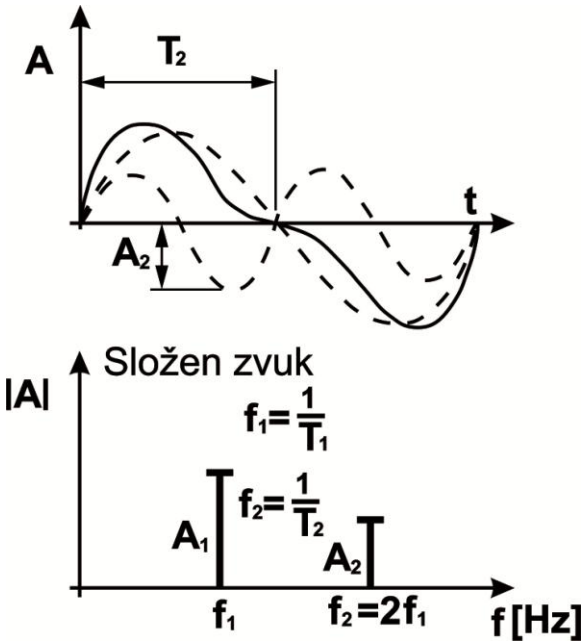
Uvodne napomene

- Pod dejstvom dinamičkih sila javlja se vibriranje čestica mehaničkog sistema.
- Na graničnim površinama mehaničkog sistema se to vibriranje prenosi na čestice elastične sredine - vazduh i tada se naziva akustično oscilovanje, odnosno ***zvuk*.**
- Zvuk opisujemo u vremenskom i frekventnom domenu.
- Buka je neželjen ili štetan zvuk i može imati različit spektar.



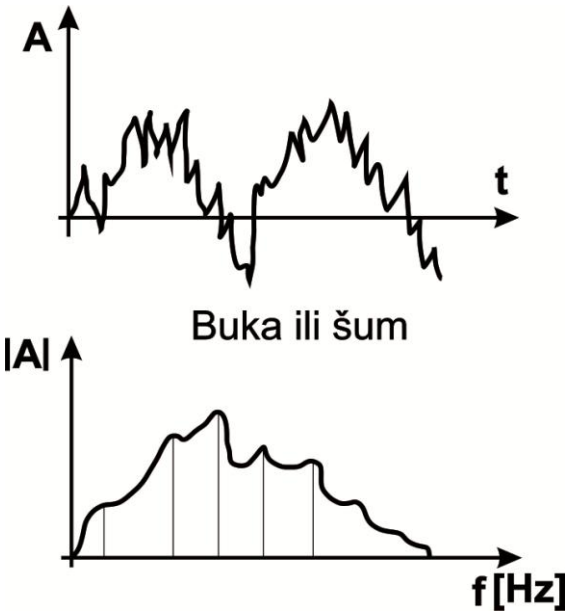
Uvodne napomene

- Kad se prostom zvuku dodati još jedan takav, ali različite amplitude i periode, onda je ta pojava ***složen zvuk.***
- Širokopojasna buka raspodeljena je po širem opsegu frekvencija
- Impulsna buka prati kratke nagle događaje.
- Izvori su rezanje, pogoni, ležajevi, ventilatori i strujanje fluida.



Vremenski domen

Frekventni domen



Uvodne napomene

- Istraživanja o emisiji buke imaju za cilj da, odgovarajućim postupcima smanje negativan uticaj buke na ljude, rukovaoce mašina.
- Drugi cilj istraživanja o emisiji izvora buke, kod mašina alatki je da se dobiju uporedne informacije o njihovom akustičnom ponašanju u cilju poređenja sa drugim mašinama sličnih glavnih karakteristika.
- Unutar mašina alatki postoji veliki broj izvora buke, čije karakteristike se mogu posmatrati kao: prostorne (stacionarni, mobilni izvori buke), vremenske (stalna, promenljiva buka) i akustične (jačina, spektar, usmerenost).
- Što se tiče prostornih karakteristika, imajući u vidu mašine alatke instalisane u proizvodnom pogonu, radi se o stacionarnim izvorima buke.
- Za procenu vremenskog toka zvučnih signala u meračima nivoa buke su instalisana različita vremena integracije, koja utiču na dinamiku merenja i prikaza nivo buke.
- U skladu sa DIN IEC 651, predviđene su tri različite dinamike prikaza, spora (S; koja ima vremensku konstantu reakcije τ = 1 [s]), brza (F; τ = 125 [ms]) i impulsna (I; τ = 35 [ms]).

Uvodne napomene

- S jedne strane, izbor dinamike prikaza zavisi od toga da li je buka stalna (nepromenljiva, sa promenama nivoa do 5 [dB]), ili promenljiva (sa promenama nivoa preko 5 [dB]; impulsna-brzo rastući vrhovi sa trajanjem manjim od 1 [s]),
- S druge strane zavisi od propisa za merenje koja se moraju poštovati tokom merenja buke.
- Obzirom da se pri radu mašine, čak i u praznom hodu, javlja veliki broj dinamičkih sila, njihov odziv je u elastičnoj sredini zapravo buka.
- Ona ima uticaja na tačnost mašine kao njenu eksploatacionu karakteristiku, indirektno preko čoveka - rukovaoca.
- U cilju kvantifikovanja buke radi procene njenog štetnog delovanja na čoveka, razmatraju se njeni parametri počev od akustične (zvučne) energije (E), koja predstavlja ukupnu energiju (potencijalnu i kinetičku) čestica usled elastičnog oscilovanja:

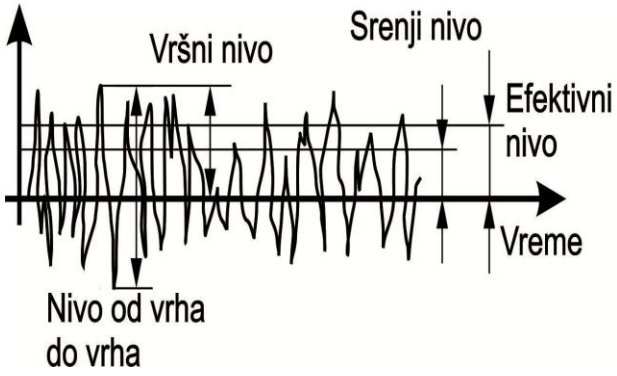
$$E = P \cdot t$$

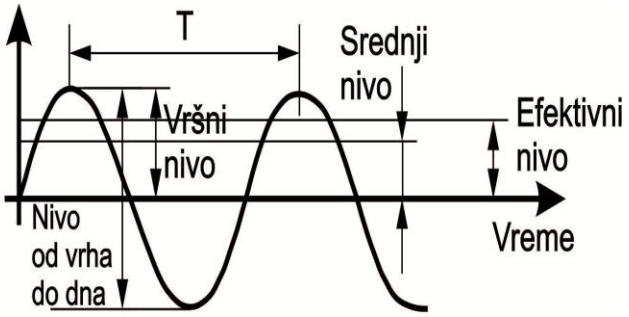
Snaga izvora buke (P) je ukupna zvučna energija koju u jedinici vremena zrači zvučni izvor:

$$P = I \cdot A$$

Uvodne napomene

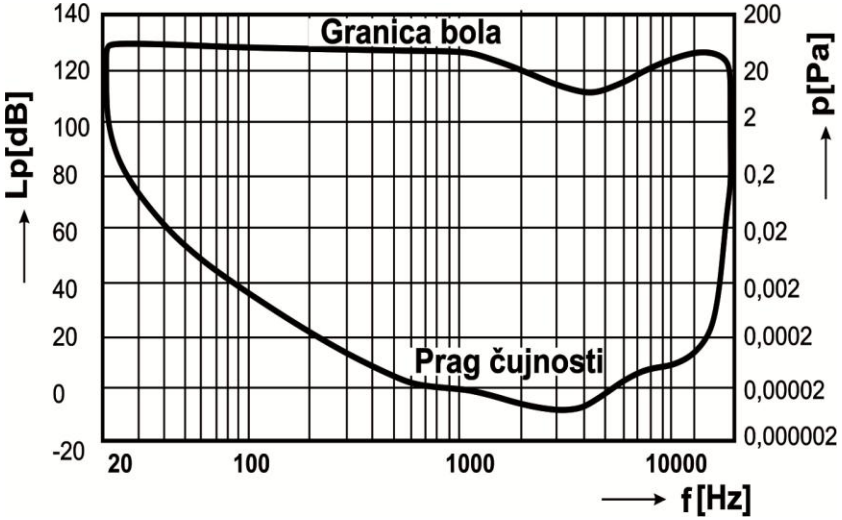
- Zvučna energija koja u jedinici vremena prođe kroz jedinicu površine predstavlja intenzitet zvuka (I).
- Od izvora se zvuk prostire u vidu zvučnih talasa. Pritisak koji postoji u određenoj tački sredine kada nema zvučnih talasa naziva se statički pritisak.
- Pri emitovanju zvuka, razlika između pritiska koji postoji u nekoj tački sredine i statičkog pritiska je zvučni pritisak.
- On je karakerisan sa nekoliko vrednosti: vršni nivo (maksimalna vrednost - X_{MAX}), srednji nivo (X_{sr}), efektivni nivo (efektivna vrednost – X_{RMS}),

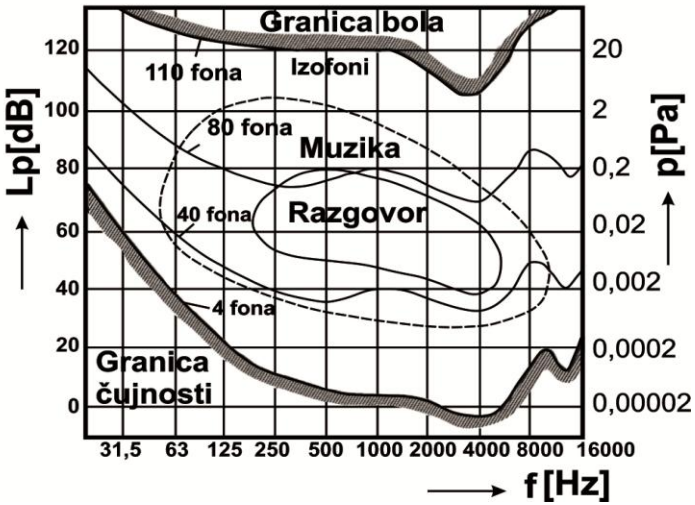




Uvodne napomene

- Karakteristične frekvencije u oblasti razmatranja akustičnih pojava su:
  - ✓ f = 20 [Hz] donja granica čujnog spektar ispod koje je područje infrazvuka
  - ✓ f = 20.000 [Hz] gornja granica čujnog spektra iznad kojeg je područje ultrazvuka, a iznad 10^9– hiperzvuk.
- Obzirom na činjenicu da se buka ovde razmatra zbog uticaja na čoveka, područje interesovanja se ograničava na oblast u kojoj reaguje organ čula sluha čoveka.
- Čujna oblast je definisana graničnim frekvencijama i zvučni pritiscima.





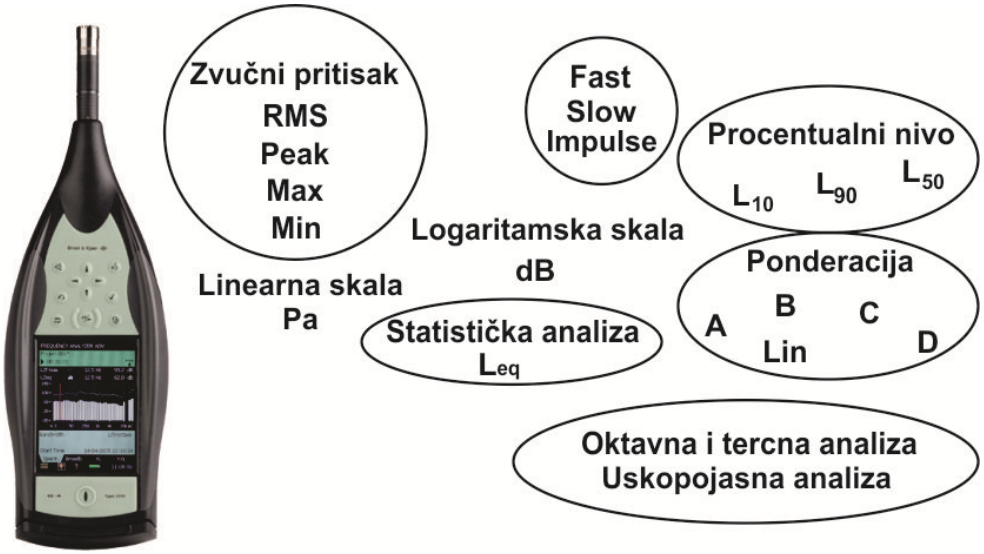
Instrumentacija za merenje buke

Za merenje parametara buke u vremenskom i frekventnom domenu koristi se širok spektar instrumenata. Svi tipovi instrumenata se mogu podeliti u tri grupe:

1) instrumenti za određivanje ukupnog nivoa buke, koji za analizu sadrže težinske krive i detektor signala;

2) instrumenti za frekvencijsku analizu signala, koji sadrže skup filtera za filtriranje ulaznog signala i detektor signala;

3) kombinacija navedenih tipova instrumenata.



Instrumentacija za merenje buke

Osnovni elementi navedenih instrumentacija su:

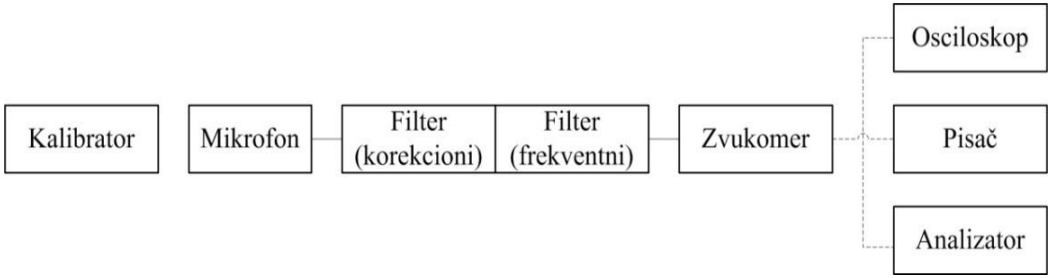
Pretvarač - sa zadatkom pretvaranja zvučne oscilacije izazvane dejstvom zvučnih talasa u električni signal;

Predpojačivač - ima zadatak da pojača električni signal relativno male amplitude dobijen na izlazu pretvarača i sa podesivim pojačanjem da pokrije širok dinamički opseg;

Težinske frekvencijske karakteristike - ponderišu signal u frekventnom domenu čime se dobija trenutni nivo signala sa A, B, C, D ili linearnom karakteristikom (Lin);

Filteri - imaju zadatak da izvrše analizu signala u frekventnom domenu, a kao rezultat se dobija frekventni spektar analiziranog signala;

Detektor (Zvukomer) –služi za određivanje energetski srednje vrednosti signala proporcionalnog efektivnoj vrednosti.

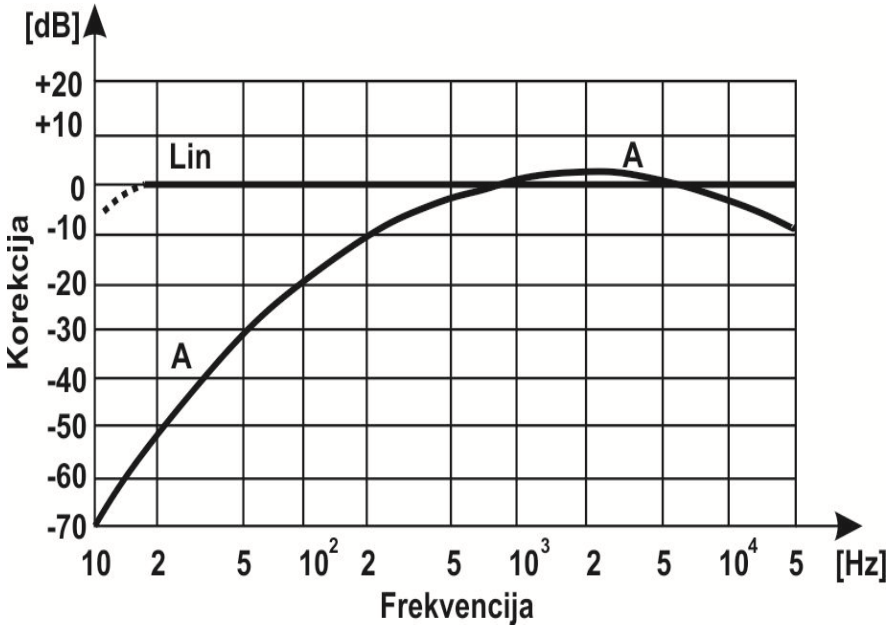


Instrumentacija za merenje buke

Težinske frekvencijske karakteristike: Pokazivanje instrumenta pri merenju buke, obzirom da je fizički realno, neće odgovarati subjektivnom osećanju čoveka.

Zato se u instrumente ugrađuju tzv. *korekcione (težinske, ponderisane) frekvencijske karakteristika* pomoću koje i on reaguje kao uvo.

Korekcioni filter omogućuje i izbor prikazivanja primljenog signala u obliku "objektivno prisutnog zvučnog pritiska" (nekorigovana karakteristika -), ili "subjektivne procene objektivno prisutnog zvučnog pritiska" (uz korekcionu karakteristiku - krivu A). Sem korekcione karakteristike „A" koriste se i korekcione karakteristike „B"(za srednje nivoe buke), „C" (za visoke nivoe buke), „D" (merenje buke u okolini aerodroma).



Dopušteni nivo buke u radnoj sredini

Nivo buke mašine se meri radi utvrđivanja njenog “kvaliteta” sa stanovišta ovog svojstva, kao i radi provere da li je nivo bučnosti ispod dopuštenog.

Dopušteni nivo buke u radnoj sredini je, u našoj zemlji, propisan Pravilnikom o merama i normativima zaštite na radu od buke u radnim prostorijama.

Redni broj	VRSTA DELATNOSTI	Dozvoljeni nivo buke [dB(A)]		
		a	b	c
1.	Fizički rad bez zahteva za mentalnim naprezanjem i zapažanjem okoline sluhom.	85	85	80
2.	Fizički rad usmeren na tačnost i koncentraciju. Povremeno praćenje i kontrola okoline sluhom. Upravljnje transportnim sredstvima.	80	75	70
3.	Rad koji se obavlja pod čestim govornim komandama i akustičnim signalima. Rad koji zahteva stalno praćenje okoline sluhom. Rad pretežno mentalnog karaktera, ali rutinski.	75	70	60
4.	Rad pretežno mentalnog karaktera koji zahteva koncentraciju, ali rutinski.	70	65	55
5.	Mentalni rad usmeren na kontrolu rada grupe ljudi koja obavlja pretežno fizički. Rad koji zahteva koncentraciju ili neposredno komuniciranje govorom i telefonom.	-	60	50
6.	Mentalni rad usmeren na kontrolu rada grupe ljudi koja obavlja pretežno mentalni rad. Rad koji zahteva koncentraciju, neposredno komuniciranje govorom i telefonom. Rad isključivo vezan za razgovore preko komunikacionih sredstava.	-	55	45
7.	Mentalni rad koji zahteva veliku koncentraciju, isključivanje iz okoline, preciznu psihomotoriku ili komuniciranje sa grupom ljudi.	-	-	40
8.	Mentalni rad, kao izrada koncepcija, rad vezan ua veliku odgovornost, komuniciranje radi dogovora sa grupom ljudi.	-	-	35
9.	Koncertne i pozorišne sale.	-	-	30

Dopušteni nivo buke u radnoj sredini

Dozvoljeni nivoi buke klasifikovani su prema njihovim izvorima:

- označava buku koju stvara oruđe za rad ili uređaj kojim radnik rukuje ili ga poslužuje
- označava buku koju stvara oruđe za rad ili uređaj kojim radnik ne rukuje ili ga ne poslužuje
- označava buku koju stvara neproizvodni izvor (uređaji za ventilaciju ili klimatizaciju, susedna organizacija, ulični saobraćaj i sl.)

Nivo buke koji se navodi u Pravilniku kao dozvoljeni, se pri merenju tretira kao , tj. ukupni, ili totalni ili opšti nivo buke. To znači neki opšti prosek niva buke, različitih pri pojedinim frekfencijama u čujnom opsegu.

Prosek ovde znači isti uticaj na čoveka, kao i realno promenljiv nivo buke po pojedinim frekfencijama spektra, tokom osmočasovnog radnog vremena.

Pravilnik, osim navedenog dozvoljenog nivoa buke, propisuje i “dopušteno vreme izlaganja buci s obzirom na nivo trajanja buke”, kao i “vrednost nivoa zvučnog pritiska u oktavnim pojasevima”.

Dopušteni nivo buke u radnoj sredini

Buku mašine treba izmeriti i u pojedinim užim opsezima unutar frekvencija (20 – 20.000) . Ti opsezi su standardom definisani kao *oktavni pojasi*, tj. frekventni opsezi. Čujno frekventno područje sadrži 10 takvih opsega - oktava.

t [h]	Nivo buke L_d [dB(A)]	N kriva	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska u oktavnim pojasevima [dB]							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
8	85	80	98.7	91.6	86.4	82.7	80	77.7	75.9	74.4
6	87	82	100.7	93.8	88.7	85.2	82	80.3	78.5	77
4	90	85	102.6	95.9	91	87.6	85	82.3	81	79.5
3	92	87	104.6	98.1	93.4	90.1	87	85.3	83.6	82.1
2	95	90	106.6	100.3	95.7	92.5	90	87.8	86.2	84.7
1 1/2	97	92	108.6	102.5	98	94.9	92	90.4	88.8	87.9
1	100	95	110.5	104.6	100.3	97.3	95	92.9	91.3	89.8
1/2	105	100	114.5	109	105	102.2	100	98	96.4	95
1/4	110	105	118.4	113.3	109.6	107.1	105	103.1	101.5	100.1
1/8	115	110	126.3	122	118.9	116.8	115	113.2	111.8	110.4

Dopušteno dnevno vreme izlaganja buci i vrednosti njenog nivoa po oktavnim pojasevima

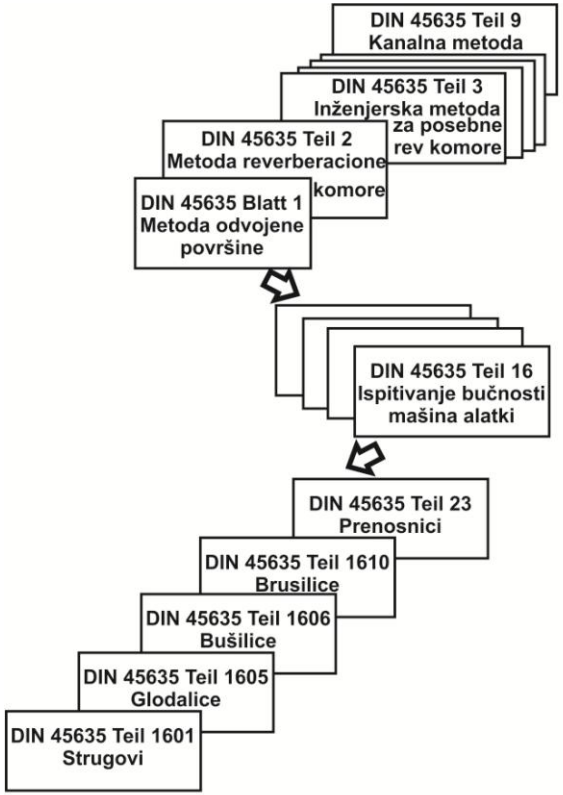
Vrednosti nivoa zvučnog pritiska po pojedinim oktavama definisane su tzv. N - krivama (kolona 3). N – krive , tj. njihov broj, je definisan smanjenjem vrednosti dopuštenog nivoa buke za 5 db(A).

Tehnologija merenja buke mašina alatki

Podaci koje proizvođača mašina alatki navode u okviru Upustva za upotreba o emisiji buke su od velike važnosti i za proizvođača i za rukovaoca.

S jedne strane, može se proveriti usklađenost sa zakonskim propisima, s druge, poređenjem buke sopstvene sa drugim mašinama, daju se smernice o tome da li i u kojoj su meri obavezne smernice za smanjenje buke.

Standardi DIN 45635 su grupisani u tri nivoa.

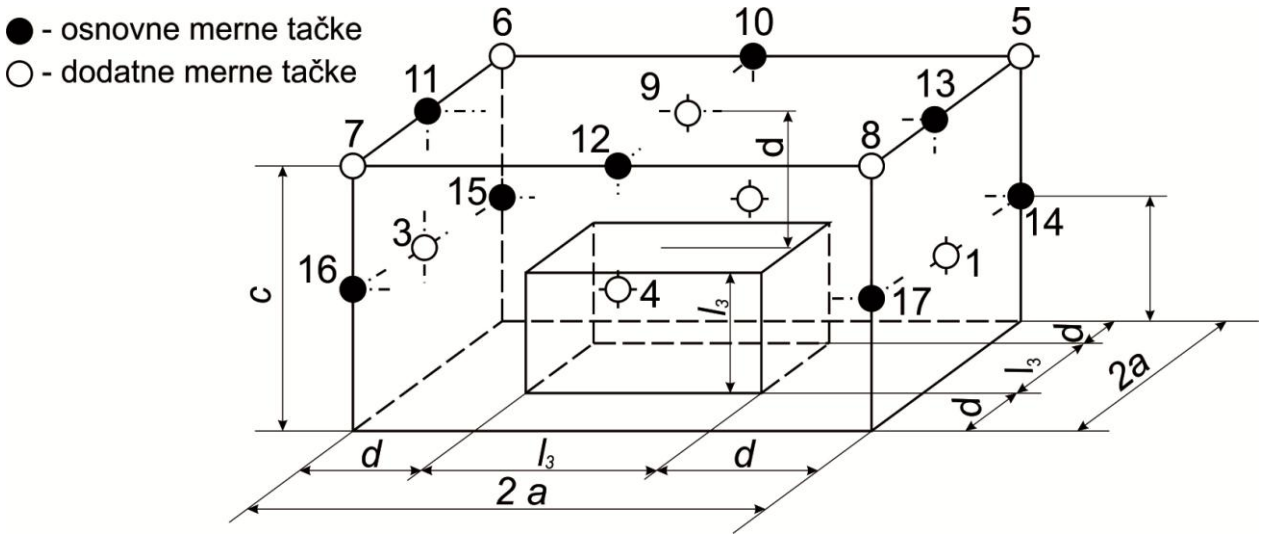


Tehnologija merenja buke mašina alatki

Metoda obvojne površine predstavlja jednostavnu i zbog toga praktičnu metodu za određivanje emisije buke, a podeljena je u tri klase tačnosti, koje zavise od okoline gde se vrši merenje, tačnosti mernih instrumenata i rasporeda mernih tačaka.

Na određenom rastojanju od ovog paralelopipeda ustanovljava se merna površina. Uobičajena vrednost ovog rastojanja je 1[m].

Položaj merne površine u odnosu na referentni paralelopiped, kao i broj i raspored mernih tačaka zavisi od dimenzija mašine i njenog položaja u odnosu na pod ili zidove koji reflektuju zvučne talase.



Tehnologija merenja buke mašina alatki

U svim tačkama "i" meri se nivo zvučnog pritiska Lp prema A korekcionoj karakteristici i sporom (SLOW) dinamičkom odzivu, pri radu mašine u praznom hodu i pri obradi.

Radi globalnog uvida u raspored komponenti spektra buke meri se i objektivni ukupni nivo buke prema LIN karakteristici.

Obzirom da se ispitivanje odnosi na buku same mašine, izmerene vrednosti treba korigovati. U zavisnosti od nivoa buke pri radu mašine (L_Σ) i nivoa buke okoline (Lo) mogu se javiti tri slučaja:

a) $L_\Sigma - L_O > 10\ [dB]$

Buka okoline nema značajnijeg uticaja, pa se izmerena vrednost može pripisati samoj mašini.

b) $L_\Sigma - L_O = (4 - 10)\ [dB]$

Buka okoline ima udela u izmerenoj vrednosti L_Σ, pa treba izvršiti korekciju buke mašine.

$$L_M = L_\Sigma - K_1$$

Tehnologija merenja buke mašina alatki

Pri tome je:

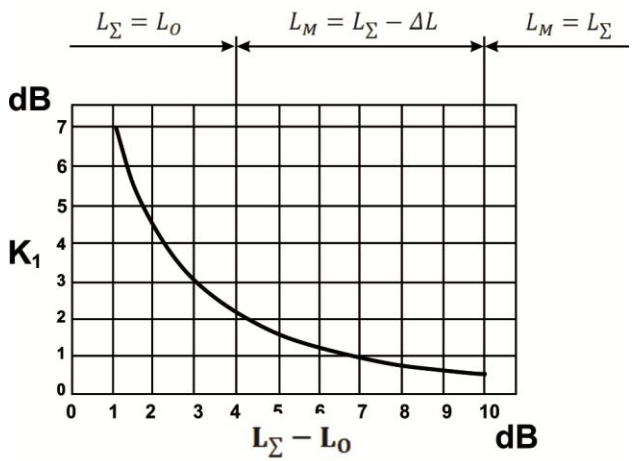
L_M [dB]- nivo buke mašine

L_Σ[dB] - izmerena vrednost buke mašine i okoline

L_o [dB] - nivo buke okoline

K_1 [dB]- faktor korekcije uticaja buke okoline

Vrednosti faktora korekcije buke okoline određuju se na osnovu razlike L_Σ- L_o



$L_\Sigma - L_O$ [dB]	K_1 [dB]
4	2
5	2
6	1
7	1
8	1
9	0.5
10	0.5
>10	0

c) $L_\Sigma - L_M < 4 \ [dB]$

Buka okoline ima dominantan uticaj u izmerenoj vrednosti L_Σ. Određivanje nivoa buke mašine se tada vrši na drugi način. Postupak određivanja nivoa buke mašine alatke u ovom slučaju je detaljno definisan u DIN 45635.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

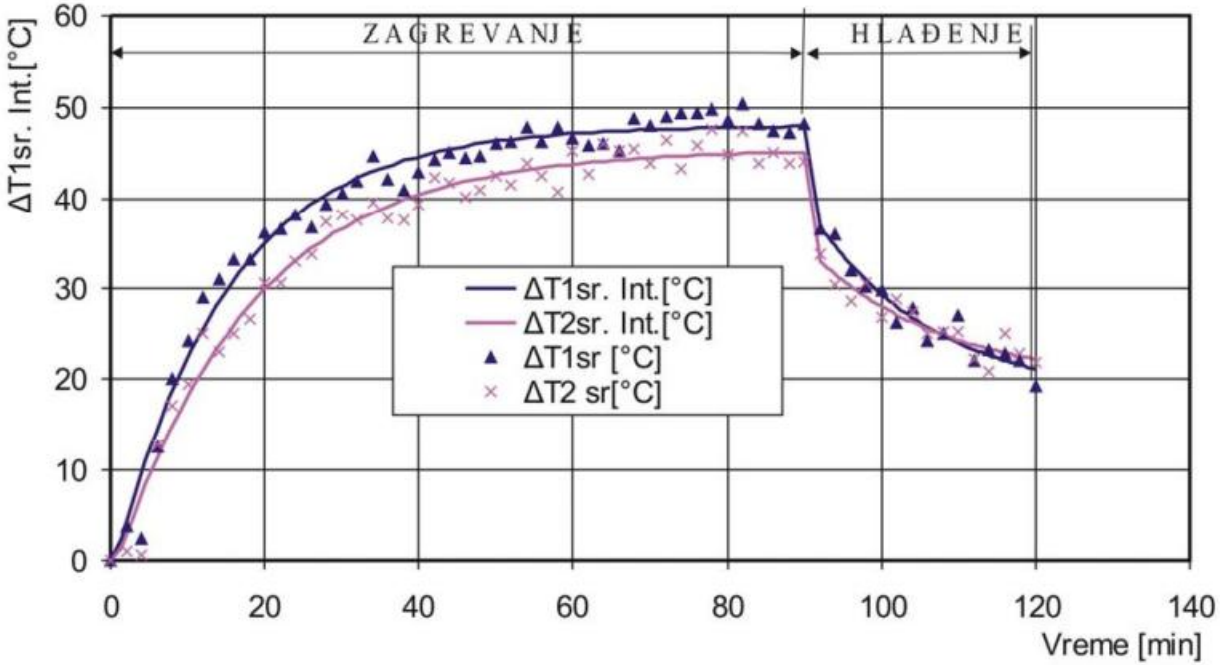
9.0 TOPLOTNO PONAŠANJE MAŠINA ALATKI

Uvodne napomene

- Mašina alatka se može smatrati mehaničkim sistemom sa brojnim toplotnim izvorima i ponorima.
- Ukupna količina toplote, koja se razvija u mašini transformacijom ulazne energije i prenosom ili zračenjem od okoline, ima uticaj na tačnost obrade zbog temperaturnih deformacija pojedinih elemenata mašine.
- Vremenska i prostorna promena toplotnih, odnosno temperaturnih stanja u mašini alatki uslovljava toplotne deformacije elemenata, što u krajnjoj liniji dovodi do promene prvobitno regulisanog međusobnog položaja alata i obradka i pojave greške (netačnosti mera i oblika) pri obradi.
- Isto tako, ove deformacije izazivaju i greške pozicioniranja elemenata kod numerički upravljanih obradnih sistema.
- Strukturnom analizom mašina alatki mogu se definisati toplotni izvori, kao i oblici prenošenja toplote. Pojedinačni toplotni izvori od posebnog interesa za mašine alatke su: ležišta, vođice, spregnuti zupčanici, remeni prenosnici, spojnice, kočnice, motori, hidroinstalacije i dr.

Uvodne napomene

- Polazeći od početnog nezagrejanog stanja mašine alatke, posle određenog vremenskog perioda dolazi do tzv. toplotne ravnoteže za koju važi da je količina toplote koja se razvija unutar strukture mašine alatke jednaka količini toplote koja se preda okolini.
- Sve do postizanja toplotne ravnoteže temperatura elemenata mašine alatke raste, a sa njom i toplotne deformacije.
- Sa toplotnom ravnotežom postiže se i stacionarno temperaturno stanje mašine alatke.

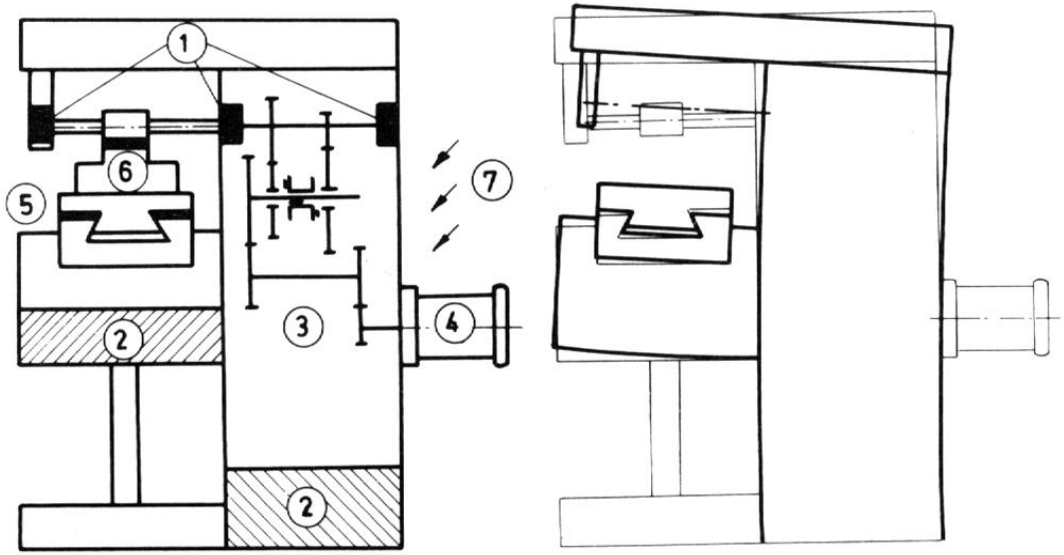


Uvodne napomene

Položaj i intenzitet toplotnih izvora na mašni je promenljiv u vremenskom domenu i oni se mogu podeliti i na :

- *spoljne izvore* (predmeti iz neposrednog okruženja (grejna tela, zidovi, druge mašine, dejstvo sunčanih zraka itd.) i toplotno dejstvo protoka materijala kroz obradni sistem (obradak, pomoćni materijal, rashladno sredstvo, sredstvo za podmazivanje i sl.);

- *unutrašnji izvori toplote* – obuhvataju energiju gubitaka pogonskih motora i rad sila trenja u prenosnoj strukturi i *procesa rezanja*;



a) b)

Uvodne napomene

- Pod unutrašnjim uticajim i unutrašnjim izvorima toplote podrazumevaju se faktori toplotnog uticaja koji nastaju radom mašine u opterećenom ili neopterećenom stanju.
- Deo ove generisane toplote dovodi do povećanja temperature alata i obradka. Najveći deo toplote je u strugotini, koji, posebno u mašinama sa horizontalnom površinom stezanja, doprinose povećanju temperature radnog stola.
- Među unutrašnje izvore toplote takođe se ubraja toplotno stanje rashladne tečnosti, koja kvasi najveći deo radnog prostora.
- Oba ova izvora mogu pripadati nepredvidivim uticajnim faktorima i koristite se za postizanje ujednačene distribucije temperature.
- Ciljani toplotni uticaj se takođe može izvesti hlađenjem pojedinačnih komponenti (glavno vreteno, motori), koji indirektno, ali, takođe, imaju uticaj na strukturu mašine.
- Toplota iz unutrašnjih izvora predstavlja transformisanu ulaznu električnu energiju. Znači celokupna ulazna snaga kod jedne mašine alatke se koristi za savladavanje otpora u elektromotoru, prenosnicima i za savladavanje otpora u zoni rezanja.

Uvodne napomene

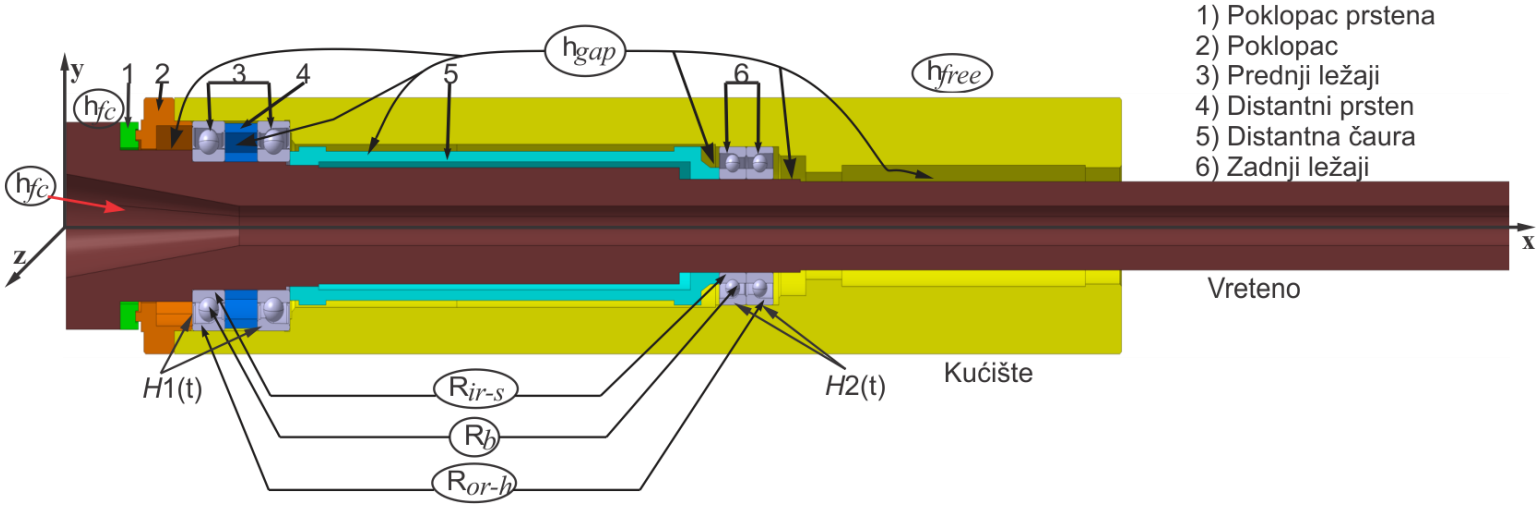
- Od posebnog interesa je određivanje stacionarnog toplotnog stanja ležaja na glavnom vretenu mašina alatki, obzirom da njihova temperatura ne sme preći određene vrednosti.
- U suprotnom može doći do neželjenih deformacija, a i opadanja viskoznosti maziva.
- Pošto, promena toplotnog stanja dovodi do promene međusobnog položaja sklopova i zazora to utiče i na promenu statičkih i dinamičkih karakteristika mašina alatki.
- Ako mašina dugo radi pri konstantnim režimima obrade (masovna proizvodnja), tada temperatura i deformacije teži ka stacionarnom stanju.
- Kod univerzalnih mašina alatki sa čestim promenama opterećenja ili u mašinama sa promenljivim radnim programima takvo stanje se ne postiže.
- U ovom slučaju, raspodela temperature i deformacija su dinamične veličine.

Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

- Uticaj toplotnih deformacija kao poremećajnog sistema je od velikog značaja, pogotovo kod mašina alatki koje koriste motor-vretena, kod kojih se javlja dodatni toplotni izvor na rotoru motora koji je u neposrednoj blizini ležišta, što dodatno otežava problem toplotnih pojava.
- Kod visokobrzinskih mašina alatki nedovoljna radna tačnost dovodi se u vezu sa topotnim deformacijama.
- Ovakvih greške obrade koje su izazvane statičkim i dinamičkim ponašanjem mogu biti veoma male u odnosu na greške koje nastaju kao posledica toplotnog uticaja.
- Promene toplotnog stanja dovode do promene zazora i preklopa u sklopu glavnog vretena, što direktno utiče na statičko i dinamičko ponašanje mašine alatke.

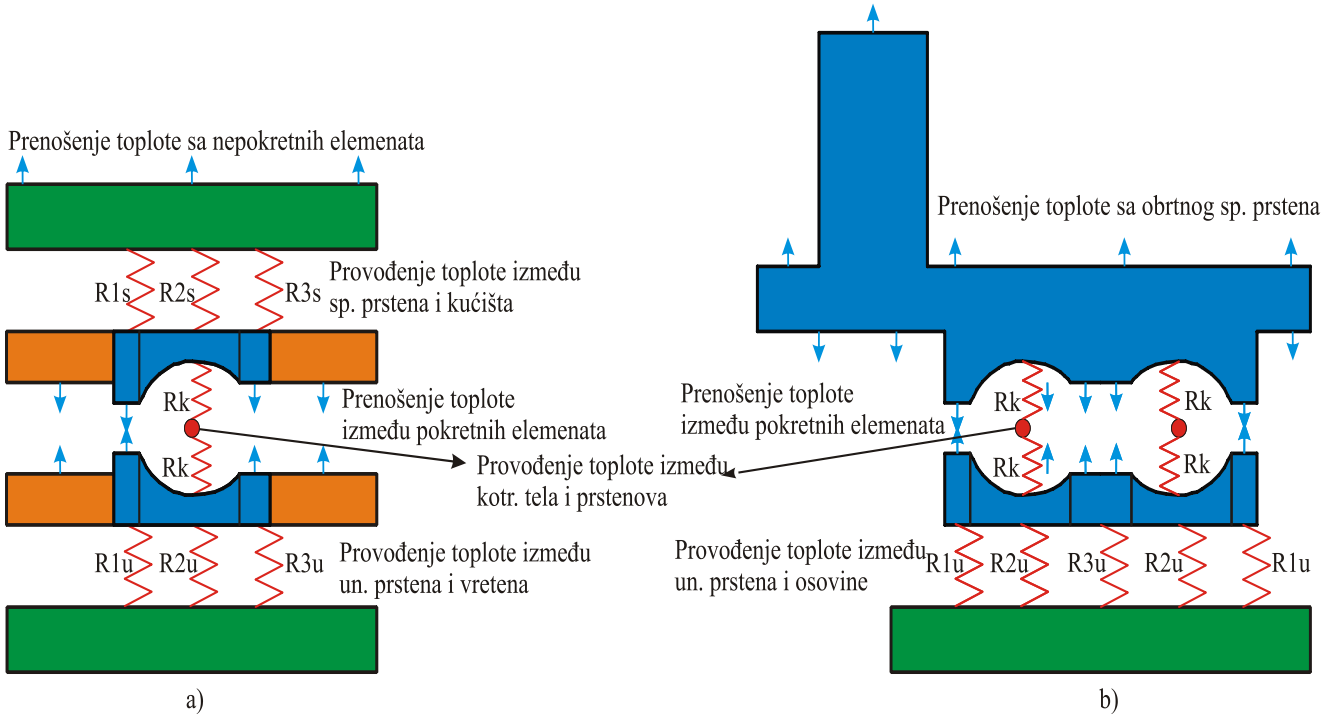
Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

- Druga grupa pitanja u vezi sa toplotnim ponašanjem mašina alatki vezana je za prenos toplote kroz strukturu mašine alatke. Vidovi prenosa toplote mogu se grupisati na:
  - ✓ provođenje toplote kroz kontakte,
  - ✓ prirodnu konvekciju,
  - ✓ prinudnu konvekciju i
  - ✓ prostiranje toplote zračenjem.



Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

- Provođenje toplote ili kondukcija, sastoji se u predaji toplote od jednog molekula drugom, pri čemu se toplota, po kinetičkoj teoriji molekula putem sudara, prostire od toplijih molekula, koji imaju veću brzinu, ka hladnijim molekulima istog tela koji imaju manju brzinu predajući im na taj način jedan deo toplotne energije.
- Provođenje toplote kroz kontakte kod sklopa glavnog vretena se ostvaruje na mestu kontakta kotrljajnih tela i prstenova i prstenova sa vretenom odnosno kućištem.



Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

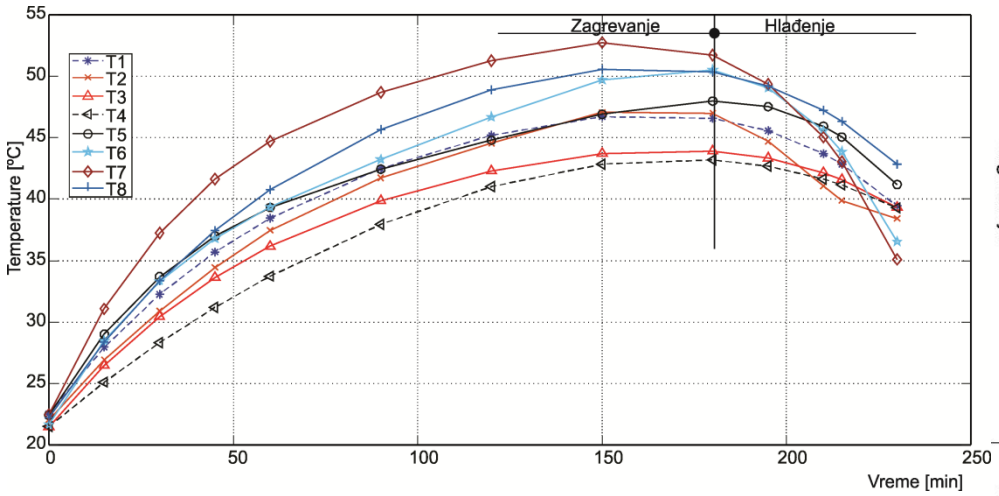
- Proces konvekcije se sastoji u tome što zagrejani molekuli fluida (u ovom slučaju sredstva za podmazivanje) prelaze sa jednog mesta (izvora toplote koji se nalazi na mestu kontakta kotrljajnih elemenata i spoljašnjeg prstena) na drugo mesto.
- Deo ovih molekula prelazi na glavno vreteno, dok se drugi deo oslobađa u atmosferu.
- Ovde postoje dve vrste strujanja fluida i to prirodna i prinudna konvekcija.
- Prinudna konvekcija se javlja kada, temperature i specifične gustine imaju različite vrednosti u raznim slojevima posmatranog fluida.
- Ovakvo stanje slojeva fluida pod uticajem gravitacije i obrtanja ležišta ostvaruje strujanje celokupne mase fluida, a sa ovim i puno prostiranje toplote kroz fluid (sredstva za podmazivanje i hlađenje).
- Prirodna konvekcija se ostvaruje razmenom toplote između nepokretnih delova mašine alatke i okoline.

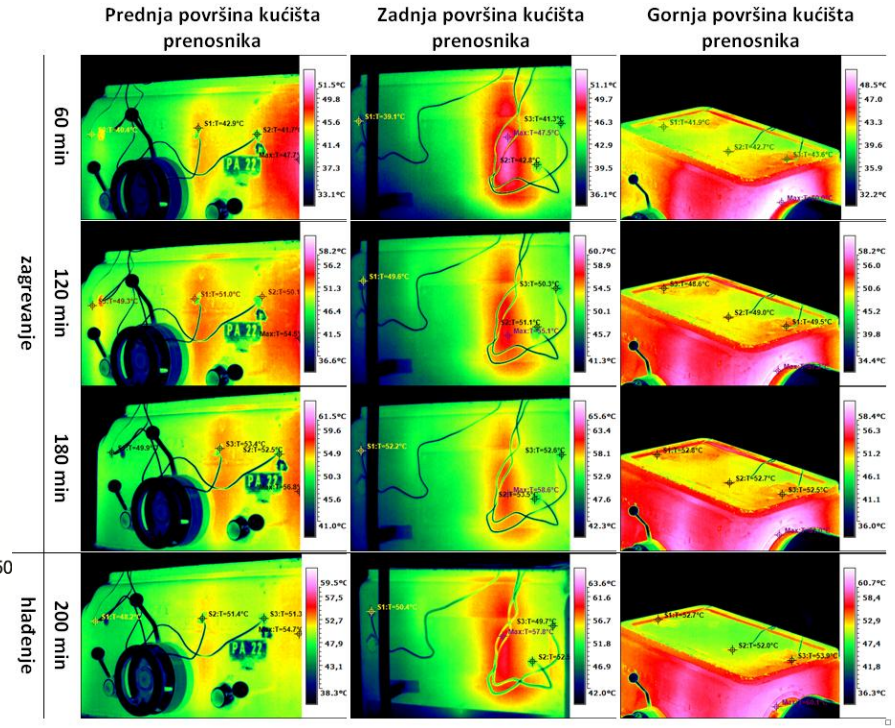
Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

- Radi uvida u toplotno ponašanje konkretne mašine vrši se eksperimentalno ispitivanje pri njenom radu u praznom hodu, obzirom da količina toplote koja se razvija u zoni rezanja nema nekog značajnijeg uticaja na deformacije elemenata mašine (odvodi se alatom, obradkom i sredstvom za hlađenje i podmazivanje).
- Ispitivanjem se utvrđuju sledeći parametri:
  - ✓ priraštaj temperatura karakterističnih tačaka mašine u odnosu na početnu temperaturu;
  - ✓ vreme postizanja stacionarnog temperaturnog stanja;
  - ✓ temperaturne deformacije preko utvrđivanja promene položaja ose glavnog vretena;
- Zbog neravnomernog rasporeda toplotnih izvora u mašinama alatkama to ni porast temperature na pojedinim mestima nije isti.
- Najveći broj pokretnih elemenata se nalazi u prenosniku za glavno kretanje, te je i razvijena toplota tu najintenzivnija.

Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

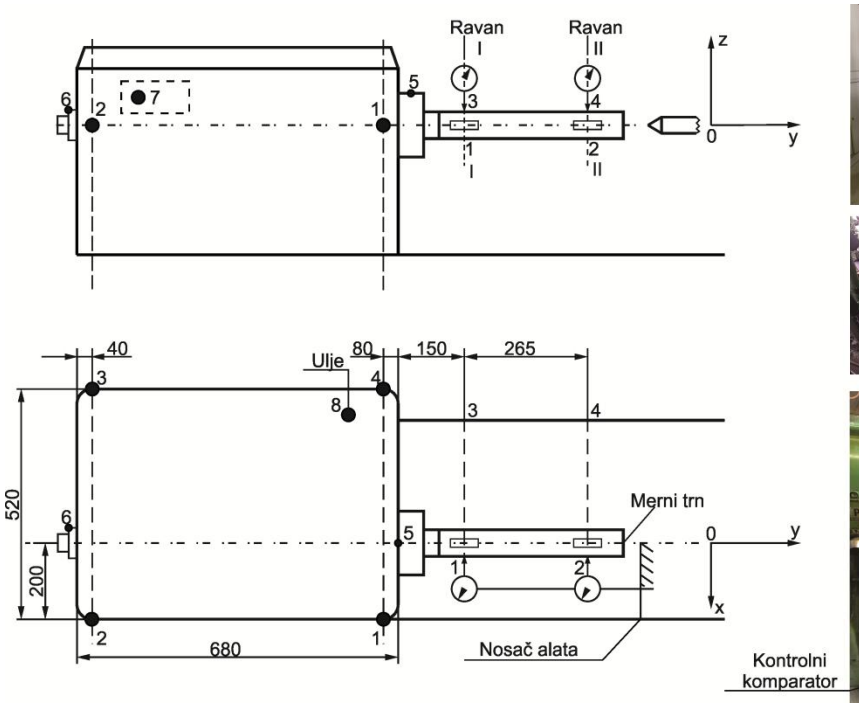
- Vreteno mašine alatke prima pogon preko prenosnika za glavno kretanje, a nosi ili alat ili radni predmet, te tako direktno utiče na tačnost obradka.
- Zbog toga se ispitivanje deformacija pod dejstvom temperature vrši na prenosiku za glavno kretanje, a i ispitivanja su pokazala da je on najzagrejaniji deo mašine alatke.
- Ispitivanje toplotnog ponašanja podrazumeva definisanje krive zagrevanja od početnog hladnog do približno stacionarnog stanja mašine za najvažnije toplote izvore.





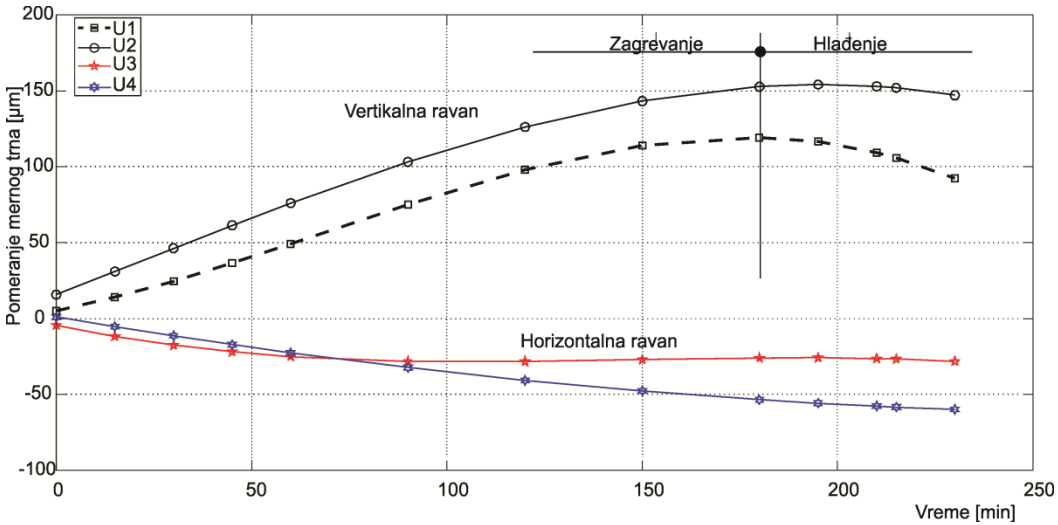
Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

- Za vreme merenja toplotnih deformacija glavno vreteno se zaustavlja, a komparatori preko poprečnog klizača se dovode u početni položaj (položaj merenja).
- Na poprečni klizač mašine se postavljaju komparatori u horizontalnoj i vertikalnj ravni. Merni pipci komparatora oslanjaju se na merni trn u vertikalnoj ravni u tačkama 1 i 2, i horizontalnoj ravni u tačkama 3 i 4.



Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

- U vertikalnoj ravni deformacije (pomeranja) prate tok porasta tempearture, dok u horizontalnoj to nije tako uočljivo zbog neponištenog zazora u ležajima.



- Na bazi razlika deformacija u stacionarnom toplotnom stanju, moguće je odrediti i ugao nagiba ose glavnog vretena u vertikalnoj i horizontalnoj ravni kao:

$$\alpha_v = arctg\frac{U_2 - U_1}{l}\bullet 10^{-3}$$

$$\alpha_H = arctg\frac{U_4 - U_3}{l}\bullet 10^{-3}$$

U - pomernja očitana na komparatoru u posmatranim tačkama u stacionarnom toplonom stanju, a

l - rastojanje između komparatora.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026.

10.0 PROIZVODNOST MAŠINA ALATKI

10.0 Proizvodnost mašina alatki

Uvodne napomene

Pored tačnosti u osnovne eksploatacione karakteristike mašina alatki spadaju ekonomičnost i proizvodnost.

Najčešće se proizvodnost izražava na sledeće načine:

- količinom proizvedenih izradaka (proizvoda) u jedinici vremena [kom/min];
- količinom skinute strugotine u jedinici vremena [kg/min] ili u zadatom vremenskom intervalu;
- veličinom obrađene površine u jedinici vremena.

10.0 Proizvodnost mašina alatki

Proizvodnost *<u>količina proizvedenih izradaka (proizvoda) u jedinici vremena</u>*

Osnovno merilo efikasnosti obradnog sistema u diskretnoj (komadnoj) proizvodnji je proizvodnost izražena količinom proizvedenih obradaka u jedinici vremena.

Pri tome se proizvodnost za završnu obradu najčešće izražava količinom proizvedenih obradaka u jedinici vremena [kom/min], ređe veličinom obrađene površine u jedinici vremena (površinska proizvodnost).

Ukupno utrošeno vreme za proizvodnju jedne serije izradaka može se prikazati izrazom:

$$t_u = t_{pz} + L\,(t_g + t_p + \Sigma t_i)\ [\text{min}],$$

Vreme potrebno za izradu jednog izradka (komadno vreme) je

$$t_k = t_{pz}/L + (t_g + t_p + \Sigma t_i)\ [\text{min}].$$

t_k - komadno vreme [min]
t_g - glavno vreme obrade [min]
t_p - pomoćno vreme [min]
Σt_i-zbir izgubljenog vremena [min]
t_{pz}- pripremno-završno vreme za obradu jedne serije delova [min]
L - broj komada u seriji

10.0 Proizvodnost mašina alatki

Proizvodnost *<u>količina proizvedenih izradaka (proizvoda) u jedinici vremena</u>*

Na osnovu definisanog komadnog vremena može se odrediti proizvodnost mašina alatki kod kojih je broj različitih izradaka mali (specijalne mašine alatke).

Pri izradi širokog spektra delova na jednoj mašini, tj. kod univerzalnih mašina alatki se proizvodnost izračunava na osnovu vremena obrade reprezentativnog izradka.

Reprezentativni izradak se definiše kao srednja vrednost pojedinih parametara skupa izradaka namenjenih za obradu na datoj mašini, npr. po dimenzijama, masi, itd.

Polazeći od strukture komadnog vremena može se definisati:

- idealna,
- tehnološka i
- efektivna proizvodnost.

10.0 Proizvodnost mašina alatki

Proizvodnost *<u>količina proizvedenih izradaka (proizvoda) u jedinici vremena</u>*

<u>Idealna proizvodnost</u>

$Q_i = 1/ t_g$ [kom/min]

U ovom slučaju se predpostavlja da je alat u neprekidnom zahvatu sa obradkom. Mašine kod kojih je ispunjen ovaj uslov nazivaju se mašine kontinulanog dejstva.

<u>Tehnološka (teorijska) proizvodnost</u> (uzimaju se u obzir samo ciklusni gubici, tj. obuhvata prekidnost u tehnološkom procesu)

$Q_T = 1/(t_g+t_p)$ [kom/min]

<u>Efektivna (stvarna) proizvodnost</u>

$Q_e = 1/(t_g + t_p + \Sigma t_i)$ [kom/min]

U ovom slučaju je u komadno uključeno i vanciklusno vreme koje obuhvata transportne i druge vremenske gubitke.

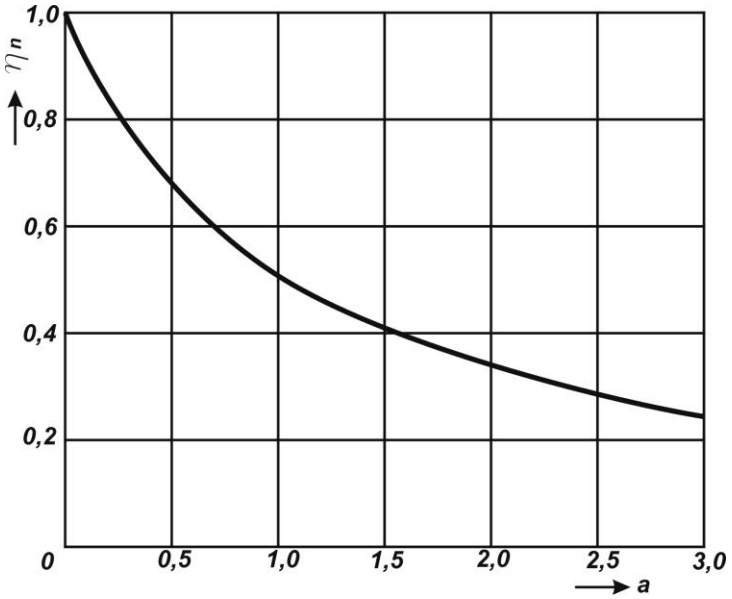
10.0 Proizvodnost mašina alatki

Proizvodnost *<u>količina proizvedenih izradaka (proizvoda) u jedinici vremena</u>*

Tehnološka proizvodnost se može definisati u zavisnosti od idealne, $Q_T = Q_i\ \eta_n$, gde je η_n stepen tehnološke neprekidnosti.

Stepen tehnološke neprekidnosti, kao odnost tehnološke i idealne proizvodnosti, može se izraziti na sledeći način:

$$\eta_n = Q_T/Q_i = t_g/(t_g + t_p) = 1/(1 + t_p/t_g)) = 1/(1+a)$$



Zavisnost stepena tehnološke neprekidnosti od „a“

10.0 Proizvodnost mašina alatki

Proizvodnost *izražena količinom skinute strugotine*

Osnovni zadatak obradnog sistema pri gruboj obradi predstavlja odstranjivanje viška materijala (dodatka za obradu) sa pripremka u što kraćem vremenskom periodu. Efikasnost ove obrade meri se:

- ***zapreminskom proizvodnošći*** ili
- ***specifičnom zapreminskom proizvodnošću.***

Zapreminska proizvodnost

Vremenski interval u kome se posmatra količina skinute strugotine je, po pravilu, postojanost alata „T“, pa se zapreminska proizvodnost može izraziti na sledeći način:

$Q = (a \cdot s \cdot v \cdot \rho \cdot T)/1000$ [kg/T],

Uvođenjem smene a = g .s, dobija se

$Q = (g\, s^2 \cdot v \cdot \rho \cdot T)/1000$ [kg/T]

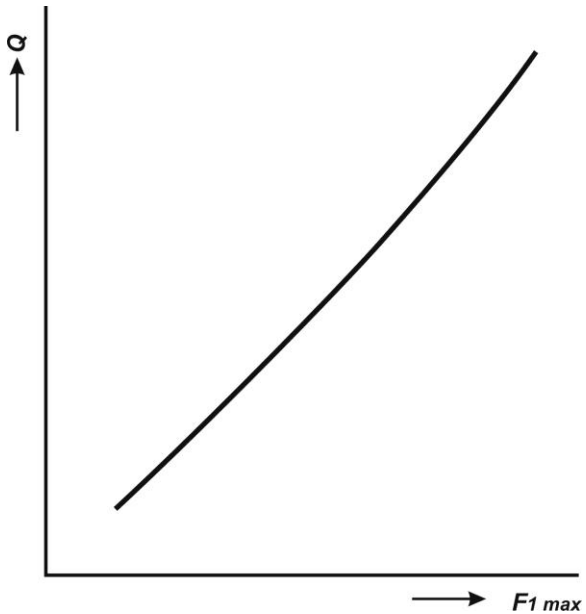
Proizvodnost *izražena količinom skinute strugotine*

Ovu proizvodnost pogodno je izraziti u funkciji od maksimalnog otpora rezanja. Pri obradi struganjem maksimalni otpor rezanja je:

$$F_{1\max} = C_k a_{\max}^{x_1} s_{1\max}^{y_1} \qquad s = \left(\frac{F_{1\max}}{C_k g^{x_1}}\right)^{\frac{1}{x_1+y_1}}$$

$$Q = K \cdot \left(F_{1\max}\right)^{\frac{2}{x_1+y_1}} \qquad K = \frac{g \cdot v \cdot \rho \cdot T}{1000}\left(\frac{1}{C_k \cdot g^{x_1}}\right)^{\frac{2}{x_1+y_1}}$$

Zapreminska proizvodnost raste sa porastom F_{1max} .



Proizvodnost *izražena količinom skinute strugotine*

Specifična zapreminska proizvodnost

Kada se zapreminska proizvodnost svede na jedinicu vremena dobija se specifična zapreminska proizvodnost:

$q = (g \cdot s^2 \cdot v \cdot \rho)/1000$ [kg/min]

Specifična zapreminska proizvodnost se može posebno odrediti za oblast iskorišćenja postojanosti alata, a posebno za oblast iskorišćenja preseka strugotine.

Oblast iskorišćenja postojanosti alata je vezana za brzinu rezanja.

$$q_A = K_1 \frac{1}{v^{\left(\frac{2}{x+y}-1\right)}}$$

Oblast iskorišćenja preseka strugotine je vezana za snagu pogonskog motora pa pomak u izrazu za proizvodnost treba izraziti u funkciji snage.

$$q_M = K_2 \frac{1}{v^{\left(\frac{2}{x_1+y_1}-1\right)}}$$

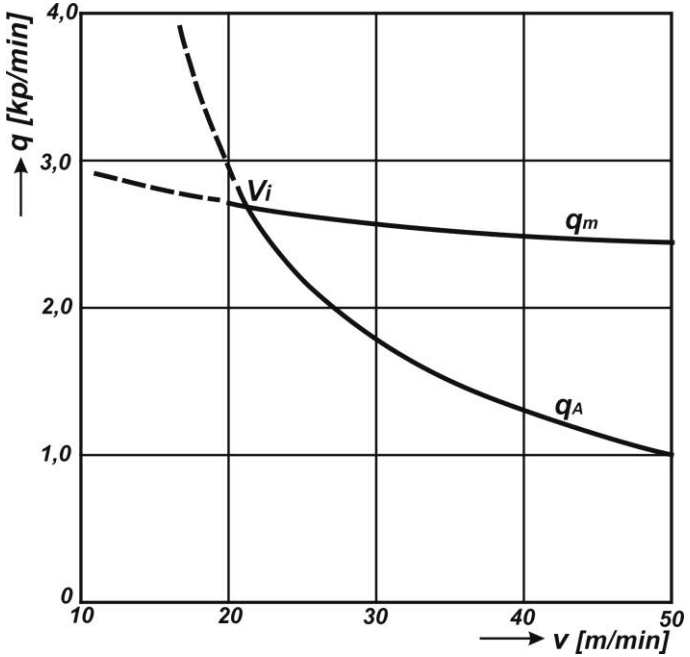
Proizvodnost *izražena količinom skinute strugotine*

Specifična zapreminska proizvodnost

Na osnovu ilustracije može se zaključiti:

da se krive seku u tački „v_i“ koja odgovara režimu istovremenog iskorišćenja i postojanosti alata i preseka strugotine (snage pogonskog motora);

sa povećanjem brzine razanja iznad „v_i“ q_A brže opada od q_M, što znači da se velika specifična zapreminska proizvodnost može postići samo u oblasti iskorišćenja preseka strugotine – boljim alatom.



Zavisnost specifične zapreminske proizvodnosti od brzine razanja