

Prilog racionalnom projektovanju mašina alatki na primeru univerzalnog struga

BRANKO B. PEJOVIĆ, Univerzitet u Prištini,

Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

SLAVICA J. CVETKOVIĆ, Univerzitet u Prištini,

Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

ALEKSANDAR T. TODIĆ, Univerzitet u Prištini,

Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

BOGDAN S. ĆIRKOVIĆ, Univerzitet u Prištini,

Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

STEFAN M. PAVLOVIĆ, Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Tehnološki fakultet, Zvornik, Bosna i Hercegovina

Stručni rad

UDC: 621.941.24

U radu je za univerzalnu mašinu alatku za obradu struganjem određena zavisnost pogonske snage od brzine rezanja za eksploatacijsku oblast iskorišćenja postojanosti alatke i preseka stugotine. Ove zavisnosti su iskorišćene za utvrđivanje glavnih optimalnih karakteristika i maksimalne pogonske snage mašine. Na bazi ovoga, izvršena je analiza povećanja pogonske snage mašine za karakteristične slučajeve u cilju prilagođavanja eksploatacionih karakteristika novim potrebama odnosno poboljšanja proizvodnosti.

Koristeći prethodnu analizu, određeno je najpovoljnije rešenje sa aspekta racionalnog projektovanja mašine, pri čemu je obezbeđeno istovremeno iskorišćenje glavnih karakteristika na bazi povećanja broja obrta, a uz primenu alata veće postojanosti. Radi potpunijeg prikaza problema, izvršena je analiza u pogodnim dijagramima P-V odnosno V-D.

Na karakterističnom primeru iz proizvodne prakse, na kraju rada, dat je prikaz poboljšanja eksploatacijskih karakteristika jednog univerzalnog struga kroz odgovarajuće proračune sa aspekta prilagođavanja karakteristika novim potrebama, pri čemu se očekuje da će rekonstrukcija mašina biti najmanja.

Ključne reči: mašine alatke, univerzalni strug, eksploatacijske karakteristike, eksploatacijska analiza, povećanje snage i broja obrta mašine, postojanost alata, otpori rezanja, merodavni obrtni moment, optimalni prečnik obrade

1. UVODNA RAZMATRANJA

Za postojeće mašine alatke u pogonu moguće je izvoditi njihovu modernizaciju koja predstavlja određene zahteve, koji mašinu po raznim osnovama prevode iz jednog u novo, više konstrukciono-eksploataciono stanje, [1], [2], [3].

Grupe najvažnijih ciljeva u modernizaciji mašina alatki bile bi povećanje: brzohodnosti, instalisane snage, stepena automatizacije, promena teh-

nološkog nivoa i dijapazona primene. Modernizaciju mašina alatki takođe treba prihvatiti i sa određenim ograničenjima koja su prisutna prilikom analize proizvodnog programa i kapaciteta, [3], [4], [5], [7].

Treba naglasiti da problem iznalaženja povoljnih uslova iskorišćenja mašina alatki u postojećoj literaturi nije još dovoljno obrađen i ako predstavlja važan faktor za povećanje proizvodnosti mašina, [5], [6], [8].

Uslovi koje treba da ispuni svaka mašina alatka bili bi: tačnost, proizvodnost i ekonomičnost. Isto tako važne su i tendencije u ostvarenju velikih brzina u cilju primene alata velike postojanosti kao

Adresa autora: Branko Pejović, Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, Kneza Miloša 7

Rad primljen: 12.07.2014.

Rad prihvaćen: 23.02.2015.

i povećanje otpora rezanja odnosno preseka strugotine, a sve u cilju povećanja proizvodnosti. Vežano za prethodno, javlja se i potreba za što većom pogonskom snagom mašine, pri čemu je važno da ona bude određena s obzirom na optimalni režim obrade, [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13].

Izbor pogonske snage kod mašina alatki predstavlja važan problem sa gledišta koncepcije mašina i njenog iskorišćenja pri različitim režimima obrade. Pri ovome kod univerzalnih mašina, za razliku od specijalnih, mora se uzeti u obzir cela oblast primene i u njoj naći optimalni režim obrade, kao merodavan za proračun snage, s obzirom da se ovde proizvodni zadaci često menjaju, [9], [10], [12].

2. ODREĐIVANJE POGONSKE SNAGE STRUGA PRI RAZLIČITIM REŽIMIMA

Glavni otpor rezanja pri strugarskoj obradi, može se izraziti u zavisnosti od elemenata preseka strugotine, dubine rezanja i koraka, $a[m]$, $s[m/o]$ [5], [6], [7], [11], [14].

$$F_I = C_k \cdot a^{x_I} \cdot s^{y_I} \quad [N] \quad (1)$$

Faktor $C_k [N/m^2]$ je zavisian od materijala obradka.

Prethodno usvojene dimenzije nisu uobičajene ali su pogodne za proračune koji slede.

Brzina rezanja, može se izraziti preko proširenog izraza: [2], [4], [12], [15]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot a^x \cdot s^y} \cdot \zeta_k \cdot \zeta_p \cdot \zeta_T \quad [m/s] \quad (2)$$

odnosno,

$$V = \frac{C'_v}{a^x \cdot s^y} \quad (3)$$

gde je konstanta,

$$C'_v = \frac{C_v \cdot \zeta_k \cdot \zeta_p \cdot \zeta_T}{T^m} \quad (4)$$

Faktor $C'_v [(m/s) \cdot m^2]$ zavisi od materijala radnog predmeta i alata, dok je $T [s]$ postojanost alata.

Popravni koeficijenti koji uzimaju u obzir napadni ugao odnosno materijal radnog predmeta su ζ_k odnosno ζ_p .

Ako se zadata postojanost alata T razlikuje od postojanosti T_i koja obično iznosi $T_i = 60$ min, onda je korekcionni faktor,

$$\zeta_T = \sqrt[Z]{\frac{T_i}{T}} \quad (5)$$

gde eksponent Z zavisi od vrste materijala alata i materijala radnog predmeta, [1], [5], [6], [12], [16].

Napomenimo da se koeficijenti obradljivosti C_v, x, y, m u relaciji (2) i (4), uglavnom određuju s obzirom na postojanost T_i .

Uvođenjem koeficijenta vitkosti strugotine,

$$g = \frac{a}{s} \quad (6)$$

brzina rezanja, prema (3) biće,

$$V = \frac{C'_v}{g^x \cdot s^{x+y}} \quad (7)$$

Potrebna pogonska snaga pri strugarskoj obradi biće,

$$P = \frac{F_I \cdot V}{\eta} \quad [W] \quad (8)$$

gde je η stepen iskorišćenja mašine.

Izraz za snagu P_A u oblasti punog iskorišćenja postojanosti alata i nepotpunog preseka strugotine može se dobiti prema (1) i (8), [2], [5], [6], [8], [12], [17].

$$P_A = \frac{C_k \cdot (g \cdot s)^{x_I} \cdot s^{y_I}}{\eta} \cdot V \quad (9)$$

Ako se iz relacije (7) izrazi korak,

$$s = \left(\frac{C'_v}{g^x \cdot V} \right)^{\frac{1}{x+y}} \quad (10)$$

relacija (9) prelazi u,

$$P_A = \frac{C_k}{\eta} \cdot g^{x_I} \cdot \left(\frac{C'_v}{g^x \cdot V} \right)^{\frac{x_I+y_I}{x+y}} \cdot V \quad (11)$$

Nakon sređivanja, odavde se dobija,

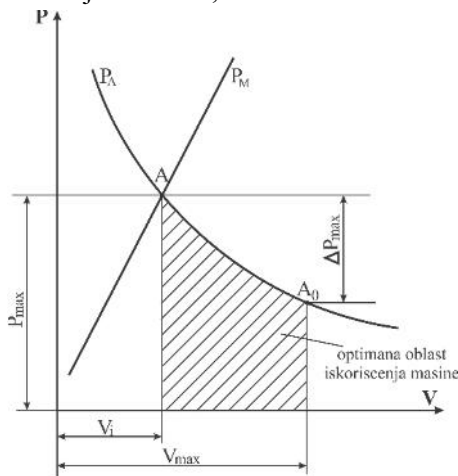
$$P_A = \frac{C_k}{\eta} \cdot (C'_v)^{\frac{x_I+y_I}{x+y}} \cdot g^{x_I - x \cdot \frac{x_I+y_I}{x+y}} \cdot V^{1 - \frac{x_I+y_I}{x+y}} \quad (12)$$

Snaga P_A može se izraziti odavde kao,

$$P_A = \frac{k_1 \cdot V^{Z_A}}{\eta} \quad (13)$$

gde je $k_l = const$, dok eksponent Z_A zavisi od faktora x_l, y_l, x, y , i ima negativnu vrednost ($Z_A < 0$).

Izraz (13) daje zavisnost snage od brzine rezanja ako je postojanost alata konstantna, pri čemu se sa promenom brzine rezanja V menja i presek strugotine tako da odnos $g = a/s$, ostaje konstantan. Povećanjem brzine rezanja opada snaga P_A ali se istovremeno smanjuje i presek strugotine pri konstantnoj postojanosti ($C'_v = const$), prema hiperboličnoj zavisnosti, slika 1.



Slika 1 - Promena snage pri konstantnoj postojanosti alata i konstantnom preseku strugotine

Izraz za snagu P_M u oblasti punog iskoriscenja preseka strugotine dobija se prema (8) i (1), [3], [5], [6], [7], [13], [18], [19].

$$P_M = \frac{C_k \cdot a_{max}^{x_l} \cdot s_{max}^{y_l} \cdot V}{\eta} \quad (13a)$$

gde su a_{max} i s_{max} maksimalne vrednosti dubine rezanja i koraka predviđene za dotičnu mašinu s obzirom na njenu statičku krutost i s obzirom na materijal radnog predmeta.

Ako se uvede koeficijent vitkosti prema (6),

$$g = \frac{a_{max}}{s_{max}} = \frac{a}{s} \quad (14)$$

relacija (13a) prelazi u,

$$P_M = \frac{C_k}{\eta} \cdot g^{x_l} \cdot s_{max}^{x_l+y_l} \cdot V \quad (15)$$

Iz izraza (15) vidi se da sa povećanjem brzine snaga raste, dok će presek strugotine izražen sa maksimalnim korakom s_{max} i konstantnim odnosom a/s ostati nepromenjen.

Iz relacije (15) sledi linearna zavisnost,

$$P_M = \frac{K_2 \cdot V}{\eta} \quad (16)$$

gde je $K_2 = const$, slika 1. Povećanjem preseka strugotine raste koeficijent K_2 a time i nagib prave u koordinatnom sistemu (P, V).

Iz prethodnog sledi da u preseku funkcije P_A i P_M u tački A, biće režim istovremenog iskoriscenja i punog preseka strugotine i pune postojanosti alata, slika 1.

Snaga u tački A je maksimalna potrebna pogonska snaga koja ne može biti prekoračena ako se ne prekorači maksimalni presek strugotine i maksimalna predviđena postojanost alata. Ovoj snazi odgovara optimalna brzina V_i , [1], [5], [6], [14], [20].

Eliminisanjem brzine V iz jednačine (8), prema izrazu (3):

$$V_i = \frac{C'_v}{a_{max}^x \cdot s_{max}^y} = \frac{C'_v}{(g_{max} \cdot s_{max})^x \cdot s_{max}^y} \quad (17)$$

biće konačno,

$$P_{max} = \frac{C_k \cdot C'_v}{\eta} \cdot g_{max}^{x_l-x} \cdot s_{max}^{x_l+y_l-x-y} \quad (18)$$

Obrtni moment pri strugarskoj obradi:

$$M_{max} = F_{lmax} \cdot \frac{D}{2} \quad (19)$$

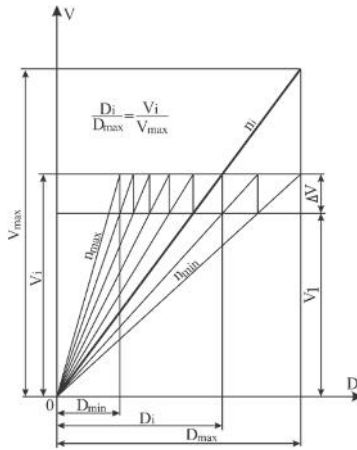
linearno se menja sa promenom prečnika obrade, pri konstantnoj maksimalnoj vrednosti glavnog otpora rezanja $F_{l,max}$ tako da bi za D_{max} imali i neku maksimalnu vrednost $M'_{max} > M_{max}$.

U cilju racionalnog dimenzionisanja elemenata mašina uvodi se pojam optimalnog prečnika D_i koji se može obraditi pri optimalnom režimu, dok se za prečnike $D > D_i$ vrši obrada sa manjim presekom strugotine. Optimalni prečnik D_i je prečnik koji se obrađuje sa optimalnim brojem obrtaja n_i tj. optimalnom brzinom V_i . [2], [6], [13], [15], [17]

Ako se pretpostavi da će se maksimalni prečnik obrađivati istim brojem obrta n_i brzinom V_{max} biće, (slika 2).

$$D_i = \frac{V_i}{V_{max}} \cdot D_{max} \quad (20)$$

Što se dokazuje iz sličnosti odgovarajućih troglova.



Slika 2 - Određivanje optimalnog prečnika

Maksimalna brzina V_{max} je ona brzina pri kojoj se glavne karakteristike mašina nalaze u dozvoljenim granicama, tj. nalaze se u oblasti dozvoljenog odstupanja od optimalne vrednosti. Ova oblast je na slici 1. šrafirana. Pri ovome je dozvoljeni pad maksimalne snage ΔP_{max} , [4], [5], [6], [15], [22].

Vrednosti za optimalni prečnik, kreću se u granicama,

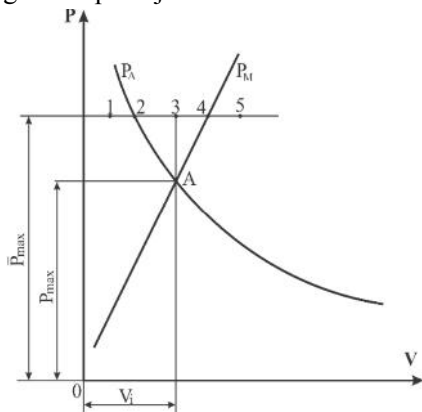
$$D_i = (0,7 \div 0,8) \cdot D_{max} \quad (21)$$

dok, obrtni moment koji se uzima za projektovanje iznosi, [5], [6], [9], [15].

$$M_{max} = F_{1max} \cdot \frac{D_i}{2} \quad (22)$$

3. ANALIZA MOGUĆNOSTI POVEĆANJA POGONSKE SNAGE KOD STRUGA

Ako se u cilju prilagođavanja mašine alatke novim potrebama, poveća pogonska snaga struga od dosadašnje vrednosti P_{max} na \bar{P}_{max} , biće poremećena ravnoteža u pogledu iskorišćenja preseka strugotina i postojanosti alata.

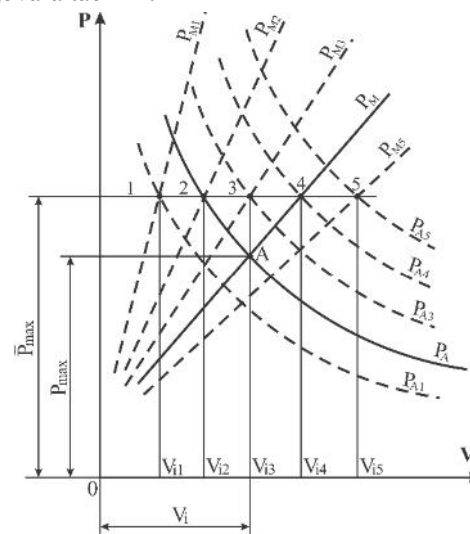


Slika 3 - Prilagođavanje mašine alatke novim potrebama povećanjem pogonske snage

Horizontala \bar{P}_{max} preseca tada linije P_A i P_M , pri čemu se mogu izdvojiti 5 karakterističnih slučajeva (tačka 1, 2, 3, 4 i 5), prema slici 3, a koji odgovaraju novim optimalnim režimima, što je prikazano isprekidanim linijama na slici 4. Svi ovi slučajevi biće detaljno analizirani.

U tački 1, ni postojanost alata ni presek strugotine nisu potpuno iskorišćeni. Umesto linija P_M i P_A važiće linije P_{M1} i P_{A1} . U tački 2 biće samo postojanost alata potpuno iskorišćena, dok je u tački 4 potpuno iskorišćen samo presek strugotine.

Prave P_{M1} , P_{M2} i P_{M3} imaju veći nagib od polazne prave P_M , što prema relaciji (16) znači povećanje preseka strugotine u odnosu na režim koji odgovara tački A.



Slika 4 - Različiti slučajevi prilagođavanja mašine novim potrebama, povećanjem pogonske snage

Očigledno presek strugotine u tački A, $a_{max} \cdot s_{max}$, povećan je na preseke: $a_{1max} \cdot s_{1max}$, $a_{2max} \cdot s_{2max}$ i $a_{3max} \cdot s_{3max}$, što predstavlja za tačke 1, 2 i 3 prekoračenje maksimalno dozvoljenog glavnog otpora rezanju F_{1max} , pa time i otpora prodiranja F_{2max} . Ovo znači da će pri određenoj statičkoj krutosti mašine elastične deformacije biti veće u odnosu na deformacije mašina pre modernizacije. Zahtevana postojanost alata u tačkama 1, 2 i 3 je manja od postojanosti u tački A što znači da je alat u ovim tačkama 1 i 2 potpuno iskorišćen. Optimalna brzina u tačkama 1 i 2 je smanjena u odnosu na brzinu V_i u tački A, dok je u tačkama 4 i 5 povećana u odnosu na istu.

U tački 2, brzina je smanjena pri konstantnoj postojanosti alata ($T_2 = T_A$), to znači da se presek strugotine u ovoj tački mora povećati, što kao što je

rečeno s obzirom na deformaciju mašine ne odgovara. U tački 3, optimalna brzina je ista u odnosu na tačku A , dok je presek strugotine povećan, (što je nedovoljno), dok se zahteva veća postojanost alata nego u tački A .

U tački 4 presek strugotine je potpuno iskorišćen dok će postojanost alata biti prekoračena što znači da će se morati koristiti alat veće postojanosti.

U tački 5 nisu potpuno iskorišćeni ni presek strugotine ni postojanost alata. Zbog manjeg nagiba prave P_{M5} u odnosu na pravu P_M , presek strugotine je smanjen u odnosu na tačku A . Isto tako tačka 5 zahteva alat veće postojanosti nego što je postojanost u tački A . Znači u ovoj tački nije potpuno iskorišćen ni presek strugotine ni postojanost alata. U tačkama 4 i 5, optimalne brzine V_{i4}

i V_{i5} su veće od optimalne brzine V_i u tački A . Prema relaciji (19) sledi da će se u ovim slučajevima optimalni prečnik D_i povećati pod pretpostavkom da se maksimalni prečnik D_{max} i maksimalna brzina V_{max} ne menjaju. U tački 4, presek strugotine se nije promenio u odnosu na tačku A pa nije došlo ni do povećanja glavnog otpora rezanja F_{lmax} . Uzimajući u obzir relaciju (22), obrtni moment M_{max} , u ovoj tački se povećao srazmerno povećanju prečnika D_i . Ovo povećanje obrtnog momenta zahteva proveru prenosa sistema mašine.

3.1. Klasičan pristup ostvarivanja režima u karakterističnoj tački

[2], [4], [5], [6], [7], [9], [15], [19], [21], [22].

Kao što je rečeno režim u tački 4 odgovara povećanju pogonske snage kretanjem po liniji PM konstantnog preseka strugotine do preseka sa

linijom \bar{P}_{max} . U tački 4, prema tome biće samo presek strugotine potpuno iskorišćen u odnosu na početno stanje mašine (tačka A), dok će postojanost alata biti prekoračena. Ovo znači da će kroz tačku 4 morati da prođe druga linija zavisnosti snage i brzine koja bi sada odgovarala iskorišćenju povišene postojanosti (linija PA4).

Pri prilagođavanju novim potrebama po ovom principu, potrebno je koristiti alate veće postojanosti, naprimer prelaz sa alata od brzoreznog čelika na alate od tvrdog metala ili keramike. Novi optimalni režim koji odgovara tački 4 zahteva i veću optimalnu brzinu od brzine u tački, $\bar{V}_i > V_i$. Pošto je presek strugotine ostao konstantan, tj. pri $g = const$ je i $s_{max} = const$, to povećanje brzine V_i može se

postići samo povećanjem C'_v , relacija (4), odnosno upotrebom alata veće postojanosti, ukoliko se odnos $g = a/s$ ne promeni.

Ako se usvoji da je $D_{max} = const$ i $V_{max} = const$, slika 5, onda će optimalni prečnik prema (20) u tački 4 biti povećan tj.;

$$D_{i4} = D_{max} \cdot \frac{V_{i4}}{V_{max}} = D_{max} \cdot \frac{\bar{V}_i}{V_{max}} = \bar{D}_i \quad (23)$$

gde je $V_{i4} = \bar{V}_i$, dok je: $\frac{\bar{V}_i}{V_{max}} = \frac{V_{max}}{D_{max}}$.

Pri konstantnom preseku strugotine je $F_{lmax} = const$, pa je odnos snaga u tačkama 4 i A,

$$\frac{\bar{P}_{max}}{P_{max}} = \frac{F_{lmax} \cdot \bar{V}_i}{F_{lmax} \cdot V_i} = \frac{\bar{V}_i}{V_i} \quad (24)$$

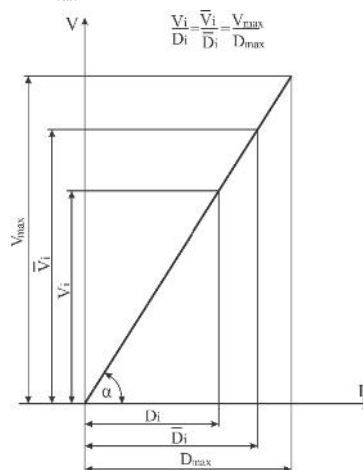
Odnos optimalnih prečnika prema (20) je,

$$\frac{\bar{D}_i}{D_i} = \frac{D_{max} \cdot \frac{\bar{V}_i}{V_{max}}}{D_{max} \cdot \frac{V_i}{V_{max}}} = \frac{\bar{V}_i}{V_i} \quad (25)$$

što je prikazano u V - D dijagramu na slici 5.

Sada je iz (24) i (25) sledi da je povećanje optimalnog prečnika srazmerno povećanju snage,

$$\frac{\bar{D}_i}{D_i} = \frac{\bar{P}_{max}}{P_{max}} \quad (26)$$



Slika 5 - Korelacija između optimalnih prečnika D_i i \bar{D}_i

Ovo povećanje \bar{D}_i , očigledno ne sme da prekorači vrednost maksimalnog prečnika D_{max} .

Obrtni moment \bar{M}_i se povećava srazmerno sa povećanjem D_i , pa prema (21) sledi odnos,

$$\frac{\bar{M}_{max}}{M_{max}} = \frac{F_{1max} \cdot \frac{\bar{D}_i}{2}}{F_{1max} \cdot \frac{D_i}{2}} = \frac{\bar{D}_i}{D_i} \quad (27)$$

Uzimajući u obzir (26) i (27), sledi da se obrtni momenat povećao srazmerno povećanju snage,

$$\frac{\bar{M}_{max}}{M_{max}} = \frac{\bar{P}_{max}}{P_{max}} \quad (28)$$

što očigledno nije pogodno s obzirom na rekonstrukciju mašine.

3.2. Novi pristup ostvarivanja režima u karakterističnoj tački

Režim u tački 4, slika 6 može se ostvariti i pri konstantnom obrtnom momentu, $\bar{M}_{max} = M_{max}$, tj. pri,

$$\bar{F}_{1max} \cdot \frac{\bar{D}_i}{2} = F_{1max} \cdot \frac{D_i}{2} \quad (29)$$

S obzirom da je $F_{1max} = \bar{F}_{1,max} = const$, ovaj uslov biće ispunjen za $D_i = \bar{D}_i$, odnosno prema (20),

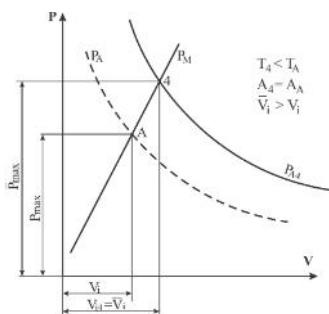
$$D_{max} \cdot \frac{V_i}{V_{max}} = \bar{D}_{max} \cdot \frac{\bar{V}_i}{\bar{V}_{max}} \quad (30)$$

Maksimalni prečnik D_{max} se ne menja, pa prema (30) sledi da je,

$$\frac{V_i}{V_{max}} = \frac{\bar{V}_i}{\bar{V}_{max}} \quad (31)$$

Optimalne brzine mogu se izraziti preko brojeva obrta,

$$\frac{V_i}{\bar{V}_i} = \frac{D_i \cdot \pi \cdot n_i}{\bar{D}_i \cdot \pi \cdot \bar{n}_i} \quad (32)$$

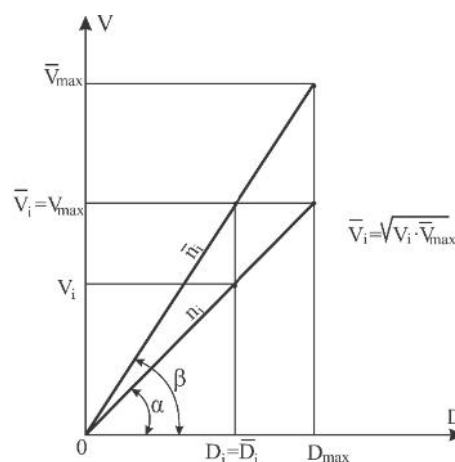


Slika 6 - Povećanje pogonske snage pri konstantnom preseku strugotine

Dokazaćemo, koristeći radni dijagram (V, D), slika 7 da će za slučaj $\bar{V}_i = V_{max}$, relacija (31) biti zadovoljena. Pri ovome, poči će se od radnog dijagrama na slici 7.

Prave n_i i \bar{n}_i u radnom dijagramu zaklapaju sa apscisom uglova α i β pa iz odgovarajućih trouglova sledi da je,

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{V_i}{D_i} = \frac{V_{max}}{D_{max}} \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{\bar{V}_i}{\bar{D}_i} = \frac{\bar{V}_{max}}{\bar{D}_{max}} \end{aligned} \quad (33)$$



Slika 7 - Ostvarenje pogodnog režima pri konstantnom obrtnom momentu

S obzirom da je $D_i = \bar{D}_i$, deljenjem jednačine (33) biće,

$$\frac{V_{max}}{V_{max}} = \frac{V_i}{V_i} \quad (34)$$

što se slaže sa jednačinom (31).

Uzimajući u obzir da je $V_{max} = \bar{V}_i$, to iz (31) sledi da je,

$$\bar{V}_i = \sqrt{V_i \cdot \bar{V}_{max}} \quad (35)$$

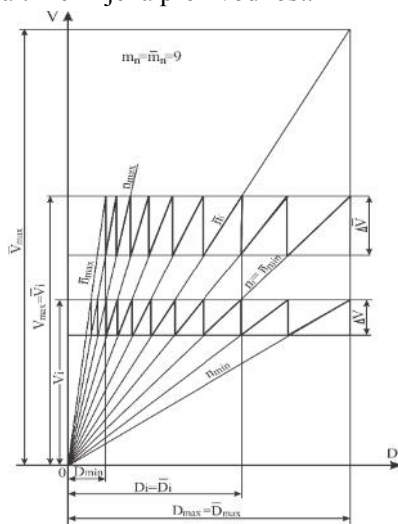
odnosno maksimalna brzina za nove uslove biće,

$$\bar{V}_{max} = \frac{\bar{V}_i^2}{V_i} \quad (36)$$

Na bazi radnog dijagrama (V, D) slika 7, gde je definisan položaj linija optimalnih brojeva obrta n_i i \bar{n}_i , na slici 8 dat je principijelni testerasti dijagram za polazne i uslove prilagođene novim potrebama. Linije najmanjeg i najvećeg broja obrta za polazne uslove su n_{min} i n_{max} a za nove uslove

\bar{n}_{min} i \bar{n}_{max} . Pri ovome, očigledno linije n_i i \bar{n}_{min} se poklapaju.

Isto tako, zapaža se da je maksimalni broj obrta za nove uslove \bar{n}_{max} povećan u odnosu na početne uslove (n_{max}). Ovim je povećana brzohodnost mašine a time i njena proizvodnost.



Slika 8 - Veza između brojeva obrtaja za polazne i nove uslove

4. RAČUNSKI PRIMER

Zadate veličine:

- Mašina alatka: univerzalni strug
- Prenosnik za glavno kretanje: zupčasti sa pomerljivom grupom zupčanika
- Vrsta obrade: gruba
- Alat: strugarski nož sa pločicom od tvrdog metala kvaliteta P25. Napadni ugao $k = 45^\circ$
- Ekonomična postojanost alata: $T = 90 \text{ min}$
- Merodavan materijal obradka: konstrukcioni legirani čelik (CrNi): $R_m = 75 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$
- Maksimalni korak: $s_{max} = 1,4 \text{ [mm/o]}$

Ovaj korak dobijen je na bazi odgovarajućih standardnih proračuna, [12], [13], [14], a koji odgovara maksimalnoj hrapavosti $R_{max} = 160 \text{ [}\mu\text{m]}$ i poluprečniku zaobljenja vrha noža $r = 1,5 \text{ [mm]}$

- Step en iskorišćenja mašine $\eta = 0,85$
- Maksimalni prečnik prema usvojenoj mašini: $D_{max} = 650 \text{ [mm]}$.

Proračun sprovodimo sledećim redosledom:

1. Koeficijenti i konstante obradljivosti

Koeficijenti vitkosti strugotine, prema materijalu alata i obradka je $g = 8$ [12], [13]

Konstante i eksponenti obradljivosti, za $T_t = 60 \text{ min}$, [13]:

$$C_V = 0,1324 \text{ [(m/s) \cdot m}^2\text{]} \quad x = 0,15$$

$$y = 0,45 \quad m = 0,2$$

$$\zeta_k = 1 \quad \zeta_p = 1 \quad Z = 2$$

$$C_k = 4,356 \cdot 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad x_1 = 1 \quad y_1 = 0,78$$

Konstanta obradljivosti za brzinu rezanja prema (4) i (5) biće,

$$C'_V = \frac{C_V \cdot \zeta_k \cdot \zeta_p \cdot Z \sqrt{\frac{T_t}{T}}}{T^m} = \frac{0,1324 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot 60}{90 \cdot 60}}}{(90 \cdot 60)^{0,2}} = 0,01938 \text{ [(m/s) \cdot m}^2\text{]} \quad (37)$$

2. Maksimalna pogonska snaga mašine

Prema (18) biće:

$$P_{max} = \frac{C_k \cdot C'_V}{\eta} \cdot g_{max}^{x_1-x} \cdot s_{max}^{x_1+y_1-x-y} \quad (38)$$

$$P_{max} = \frac{4,356 \cdot 10^8 \cdot 0,01938}{0,85} \cdot 8^{1-0,15} \cdot 0,0014^{1+0,78-0,15-0,45} = 24950 \text{ [W]}$$

Usvaja se $P_{max} = 25 \text{ [kW]}$.

3. Optimalna brzina rezanja

Prema (17) biće:

$$V_i = \frac{C'_V}{g_{max}^x \cdot s_{max}^{x+y}} = \frac{0,01938}{8^{0,15} \cdot 0,0014^{0,15+0,45}} = 0,7317 \text{ [m/s]} = 43,9 \text{ [m/min]} \quad (39)$$

4. Dubina rezanja

Za optimalnu tačku je:

$$a_{max} = g_{max} \cdot s_{max} = 8 \cdot 1,4 = 11,2 \text{ [mm]}$$

5. Optimalni prečnik

Za materijal obradka čelik, [5], [6],

$$D_i = 0,74 \cdot D_{max} = 0,74 \cdot 650 \approx 480 \text{ [mm]} \quad (40)$$

6. Maksimalne optimalne brzine

Prema (20) i (34) su:

$$V_{max} = \frac{D_{max}}{D_i} \cdot V_i = \frac{650}{480} \cdot 0,7317 = 0,9908 \text{ [m/s]} = 59,45 \text{ [m/min]} \quad (41)$$

$$\begin{aligned}
 V_{max} &= \bar{V}_i \\
 \bar{V}_{max} &= V_{max} \cdot \frac{\bar{V}_i}{V_i} = \\
 &= 0,9908 \cdot \frac{0,9908}{0,7317} = \\
 &= 1,34165 \text{ [m/s]} = 80,5 \text{ [m/min]}
 \end{aligned} \quad (42)$$

7. Maksimalni otpor rezanja

Prema (1) i (6) je,

$$\begin{aligned}
 F_{1max} &= C_k \cdot g^{x_1} \cdot s_{max}^{x_1+y_1} = \\
 &= 4,356 \cdot 10^8 \cdot 8^1 \cdot 0,0014^{1+0,78} = \\
 &= 28992,5 \text{ [Nm]}
 \end{aligned} \quad (43)$$

8. Optimalni maksimalni obrtni moment

$$\begin{aligned}
 M_{maxi} &= F_{1max} \cdot \frac{D_i}{2} = \\
 &= 28992,5 \cdot \frac{0,48}{2} = 6958,2 \text{ [Nm]}
 \end{aligned} \quad (44)$$

Kontrola rezultata može se izvesti preko,

$$\text{relacije } P_{max} = \frac{F_{1max} \cdot V_i}{\eta}$$

9. Maksimalni obrtni moment

Prema (22) je,

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= F_{1,max} \cdot \frac{D_{max}}{2} = \\
 &= 28992,5 \cdot \frac{0,65}{2} = \\
 &= 9422,6 \text{ [Nm]} > M_{maxi}
 \end{aligned} \quad (45)$$

10. Snaga s obzirom na iskorišćenje alata

Prema (12) je,

$$\begin{aligned}
 P_A &= \frac{C_k}{\eta} \cdot C_V^{x_1+y_1} \cdot \\
 &\cdot g^{x_1-x} \cdot \frac{x_1+y_1}{x+y} \cdot V^{1-\frac{x_1+y_1}{x+y}} \\
 P_A &= \frac{4,356 \cdot 10^8}{0,85} \cdot 0,01938^{\frac{1+0,78}{0,15+0,45}} \cdot \\
 &\cdot 8^{1-0,15 \cdot \frac{1+0,78}{0,15+0,45}} \cdot V^{1-\frac{1+0,78}{0,15+0,45}} \\
 P_A &= \frac{13488,46}{V^{1,9667}} \text{ [W]}
 \end{aligned} \quad (46)$$

11. Snaga s obzirom na iskorišćenje mašina

Prema (15) biće,

$$\begin{aligned}
 P_M &= \frac{4,356 \cdot 10^8}{0,85} \cdot \\
 &\cdot 8^1 \cdot 0,0014^{1+0,78} \cdot V \\
 P_M &= 34108,8 \cdot V \text{ [W]}
 \end{aligned} \quad (47)$$

12. Maksimalna snaga u novoj optimalnoj tački

Prema (24),

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_{max} &= P_{max} \cdot \frac{\bar{V}_i}{V_i} = \\
 &= 24950 \cdot \frac{0,9908}{0,7317} = \\
 &= 33785 \text{ [W]}
 \end{aligned} \quad (48)$$

Pri ovome mora biti zadovoljena relacija

$$\bar{P}_{max} = \frac{F_{1max} \cdot \bar{V}_i}{\eta}, \text{ preko koje je moguće izvršiti}$$

kontrolu rezultata.

13. Odnos snage i brzine rezanja u novoj i polaznoj optimalnoj tački

$$\frac{\bar{P}_{max}}{P_{max}} = \frac{\bar{V}_i}{V_i} = 1,354 \quad (49)$$

14. Postojanost alata pri brzini $\bar{V}_i = V_{max}$

Određuje se na bazi konstante obradljivosti prema (3), uzimajući u obzir (6):

$$\begin{aligned}
 \bar{C}_V' &= \bar{V}_i \cdot g^x \cdot s^{x+y} = \\
 &= 0,9908 \cdot 8^{0,15} \cdot 0,0014^{0,15+0,45} = \\
 &= 0,02625 \text{ [(m/s) \cdot m}^2\text{]}
 \end{aligned} \quad (50)$$

Prema (37) biće:

$$0,02625 = \frac{0,1324 \cdot 1 \cdot 1}{T^{0,2}} \cdot \frac{60 \cdot 60}{T}$$

Odavde sledi da je,

$$\bar{T} = 3499 \text{ [s]} = 58,3 \text{ [min]} < T_i = 90 \text{ [min]}$$

Očigledno postojeći alat ($T = T_i = 90 \text{ min}$), imaće pri povećanoj brzini \bar{V}_i , smanjenu postojanost \bar{T} .

15. Izbor alata povećane postojanosti

Konstanta obradljivosti za nove uslove su,

$$\bar{C}_V' = \frac{\bar{C}_V}{\bar{T}^m} \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot 60}{T}} \quad (52)$$

S obzirom da je $\zeta_k = 1$, $\zeta_p = 1$.

Optimalne brzine za polazno i novo stanje, biće:

$$V_i = \frac{C'_V}{g_i^x \cdot s_i^{x+y}}$$

$$\bar{V}_i = \frac{\bar{C}'_V}{\bar{g}_i^x \cdot \bar{s}_i^{x+y}} \quad (53)$$

Deljenjem ovih relacija sledi odnos brzina:

$$\frac{\bar{V}_i}{V_i} = \frac{\bar{C}'_V}{C'_V} = \frac{0,9908}{0,7317} = 1,354 \quad (54)$$

Konstanta obradljivosti koja odgovara novom stanju je:

$$\begin{aligned} \bar{C}'_V &= 1,354 \cdot C'_V = \\ &= 1,354 \cdot 0,01938 = \\ &= 0,02625 \text{ [(m/s) \cdot m}^2] \end{aligned} \quad (55)$$

što se slaže sa rezultatom dobijenim prema relaciji (50).

Koristeći iterativni postupak, za pretpostavljene vrednosti, konstante i eksponenti obradljivosti, za alat od tvrdog metala, biće [13], [14],

$$\bar{m} = 0,25 \quad \bar{C}'_V = 0,28$$

S obzirom na relaciju (52), sledi da je,

$$0,02625 = \frac{0,28}{\bar{T}^{0,25}} \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot 60}{\bar{T}}} \quad (56)$$

Odavde proizilazi da će postojanost za usvojeni novi alat biti,

$$\bar{T}^{0,75} = 640,244$$

odnosno,

$$\bar{T} = 5518s = 91,97 \text{ [min]}$$

što mnogo ne odstupa od polaznog alata ($T = 90 \text{ min}$).

Ovde treba napomenuti, da se pri ovome mogla usvojiti i druga vrsta materijala alata odnosno njegov drugi kvalitet.

16. Optimalni broj obrta za polazne i nove uslove

$$\begin{aligned} n_i &= \frac{V_i}{D_i \cdot \pi} = \frac{0,7317}{0,48 \cdot \pi} = \\ &= 0,485 \text{ [o/s]} = 29,1 \text{ [o/min]} \\ \bar{n}_i &= \frac{\bar{V}_i}{\bar{D}_i \cdot \pi} = \frac{0,9908}{0,48 \cdot \pi} = \\ &= 0,657 \text{ [o/s]} = 39,4 \text{ [o/min]} \end{aligned} \quad (57)$$

Faktor geometrijske promene, s obzirom na brojeve obrta za polazno i novo stanje biće,

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_2} = \frac{n_4}{n_3} = \dots \\ \bar{\varphi} &= \frac{\bar{n}_2}{\bar{n}_1} = \frac{\bar{n}_3}{\bar{n}_2} = \frac{\bar{n}_4}{\bar{n}_3} \end{aligned} \quad (58)$$

Ako nacrtamo principijelni testerasti (radni) dijagram (slika 8) za polazno i novo stanje, može se zaključiti da su faktori geometrijske promene i brojevi stupnjeva prenosnika za oba stanja jednaki, tj.,

$$\begin{aligned} \varphi &= \bar{\varphi} \\ m_n &= \bar{m}_n \end{aligned} \quad (59)$$

Isto tako zapaža se da je optimalni broj obrta polaznog stanja n_i jednak minimalnom broju obrta novog stanja, tj.,

$$n_i = \bar{n}_{min} \quad (60)$$

dok za odnos optimalnih brojeva obrtaja važi,

$$\frac{\bar{n}_i}{n_i} = \varphi^k \quad (61)$$

gde je k konstanta (ceo broj), koji se jednostavno određuje prema dijagramu na slici 8. Očigledno, pri ovim proračunima moraju se usvojiti standardne vrednosti za brojeve obrta i faktor geometrijske promene.

Treba zapaziti da se pri novim uslovima, svaki prečnik obradka D , obrađuje pri većem broju obrta (većom brzinom) u odnosu na broj obrta kod polaznog stanja.

17. Određivanje proizvodnosti

Odnos glavnog vremena za novo i polazno stanje ($l = const$), za optimalnu tačku biće,

$$\frac{\bar{t}_{gi}}{t_{gi}} = \frac{\bar{\ell}}{\ell} = \frac{\bar{n}_i \cdot \bar{s}_i}{n_i \cdot s_i} = \frac{\bar{n}_i}{n_i} \quad (62)$$

S obzirom da je $\bar{n}_i > n_i$, to sledi da je $\bar{t}_{gi} < t_{gi}$

Odavde sledi da je odnos proizvodnosti, uzimajući u obzir relaciju (61),

$$\frac{\bar{Q}_i}{Q_i} = \frac{\bar{n}_i}{n_i} = \frac{t_g}{\bar{t}_g} = const \quad (63)$$

5. ZAKLJUČAK

Povećanje eksploatacionih karakteristika univerzalnog struga, kako bi se isti prilagodio novim potrebama i doveo na veći tehnološki nivo, najracionalnije je izvesti usvajanjem varijante kada se optimalna tačka pomera u smeru punog iskorišćenja preseka strugotine.

Kao što je pokazano, povećanje pogonske snage univerzalnog struga uz istovremeno povećanje broja obrta glavnog vretena, omogućava postizanje novog optimalnog režima. Pri ovome, optimalni prečnik je ostao nepromenjen dok obrtni moment, otpor pomoćnog i glavnog kretanja, nisu povećani. Sa ovim, troškovi rekonstrukcije su minimalni dok tačnost mašina nije ugrožena. Pri ovome, postiže se poboljšanje karakteristika mašine sa najmanjim potrebama za njenom rekonstrukcijom, s obzirom da je izbegnuta provera stabilnosti prenosnog sistema i krutosti noseće strukture mašine odnosno alata. U tom slučaju potrebno je brzinu rezanja povećati u tačno određenom odnosu koji je analitički određen, uz primenu alata veće postojanosti. Isto tako nema potrebe za izmenom kinematskog sistema. Jedino je potrebno izvršiti korekciju broja obrta na ulazu u prenosnik, na primer preko kaišnog prenosnika. Usled povećanja broja obrta, doći će do povećanja temperature u uležištenju glavnog vretena mašine. Zbog ovoga, neophodno je izvršiti odgovarajuće provere i po potrebi preduzeti odgovarajuće mere u smislu izmene sistema za podmazivanje, izmene zazora ležišta i sl.

Novi optimalni režim, kao što je pokazano, omogućava povećanje proizvodnosti u celoj oblasti obrade dijapazona prečnika obradka.

Prikazana metodologija, može se relativno lako uopštiti i na ostale postupke obrade, odnosno mašine alatke (na primer bušilice i glodalice), pri čemu treba voditi računa da svaka obrada ima svoje specifičnosti u smislu ponašanja funkcija obradljivosti.

Prikazani rad može poslužiti projektantima u praksi kao teorijski model kod rešavanja problema modernizacije postojećih mašina alatki i može predstavljati prvo približenje, s obzirom da nisu uzeti u obzir svi uticaji.

LITERATURA

- [1] Zahar, S.: Mašine alatke 1, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1933.
- [2] Černov, N. N.: Metalorežnjuške stanki, Mašinstroenie, Moskva, 1988.
- [3] Tormazimanov, G. A.: Prekrovanie metaloreznjuših stanki, Mašinstroenie, Moskva, 1990.
- [4] Muren, H.: Konstruiranje odrezovalnih strojevi, Fakultet za strojništvo, Ljubljana, 1983.
- [5] Stanković, P.: Mašine alatke 1 i 2, Građevinska knjiga, Beograd, 1978.
- [6] Milačić, V.: Mašine alatke 1 i 2, Mašinski fakultet, Beograd, 1980.
- [7] Vragov, J. D.: Analiz komponovok metalorežnjuške stanki, Mašinstroenie, Moskva, 1989.
- [8] Ačerkan, N.S. i dr.: Metalorežušie stanki 1 i 2, Mašinstroenie, Moskva, 1975.
- [9] Hans, K. B.: NC Hanabuch, NC-gesellschaft, Bad König, 1977.
- [10] Opitz, H.: Moderne produktionstechnik, N. Girardet, Essen, 1981.
- [11] Trent, E. M.: Metal Cufting, Buterworths, London, 1985.
- [12] Gatalo, R. Zeljković, M.: Proračun glavnih karakteristika mašina alatki za obradu rezanjem, FTN, Novi Sad, 1998.
- [13] Milikić, D.: Tehnologija obrade rezanjem, FTN, Novi Sad, 2003.
- [14] Kalajdžić, M.: Tehnologija obrade rezanjem, priručnik, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
- [15] Weber, H.: Grundlagen des Spanes, Veb-Verlag-Technik, Berlin, 1986.
- [16] Bruins D. H.: Werkzeuge und Werkzeugemaschinet, Carl Hanser Verlag, Munchen, 1996.
- [17] Kućeo, I. M.: Metalorežušćie stanki, Vsnovi konstruovanja i rasčeba, Mašinstroenie, Leningrad, 1980.
- [18] Dunaev, P. F.: Konstruivovanie uzlov i detalej mašin, V. Š., Moskva, 1986.
- [19] Tochtermann W.: Konstruktioselemente des maschinen banes, Springer-Verlag, Berlin 1998.
- [20] Tobias, S. A.: Machine Tool, Bleckie, Glasgow, 1995.
- [21] Balakschin B. S.: Technologie des Werkzeugmaschinenenaus, Veb Verlog Technik, Berlin, 1983.
- [22] Puš, V. E.: Konstruivovanie metallorėžišnih stankov, Mašinstroenie, Moskva, 1983.
- [23] Pejović B., Todić A., Todić T., Ljamić D.: Jedan način poboljšanja eksploatacionih karakteristika univerzalne bušilice sa najmanjim potrebama za rekonstrukcijom, časopis TEHNIKA, br. 1, Mašinstvo 58, Beograd, 2009.

SUMMARY

APPENDIX TO RATIONALLY DESIGNING OF MACHINE TOOLS FOR EXAMPLE OF UNIVERSAL LATHE

In this paper, for the universal machine tool for turning and function of the thrust of the cutting speed for blasting area efficiency and stability of the tool and sectional filings. These dependencies were used to determine the main characteristics of the optimal and maximum operating power equipment. Based on this, an analysis of the increase in operating power equipment typical cases in order to adapt to the new needs of exploitation properties and improve productivity. Using the previous analysis, it was determined the best solution in terms of the rational design of machines, by ensuring the simultaneous use of the main features on the basis of increase in speed with the use of tools and higher stability. In order to better display problems, an analysis of the appropriate diagrams $P-V$ and $V-D$. On a typical example of the manufacturing practice at the end of the work, we demonstrate improvement of exploitation characteristics of a universal machine through appropriate calculations in terms of new needs adjustment feature, where it is expected that the reconstruction of the smallest machines.

Key words: machine tools, universal lathe, exploitative characteristics, exploitation analysis, the increase in power and speed machines, tool life, cutting resistance, the prevailing torque, the optimal diameter of processing