

Prof. dr Predrag V. Popović, dipl.maš.ing. x)

UTICAJ ZAKONA PROMENE KRETANJA POGONSKOG MEHANIZMA  
MEHANIČKIH KRIVAJNIH PRESA NA PROIZVODNOST xx)

1. UVOD

U mašina za obradu materijala deformisanjem periodičnog dejstva, što znači i u mehaničkih krivajnih presa, jedna od osnovnih performansi je deklarisan nominalni broj radnih ciklusa izvršnog dela - pritiskivača - mašine u jedinici vremena.

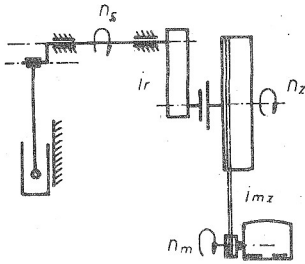
Ovaj broj radnih ciklusa izvršnog dela mehaničkih krivajnih presa zavisi od kretanja njihovog pogonskog mehanizma. Polazeći od najopštijeg pogonskog mehanizma krivajnih presa, shematski prikazanog na slici 1, dobija se da je:

$$n_{ci} = \frac{n_{mn}}{i} = \frac{n_{mn}}{i_R \cdot i_{zm}} \quad (1)$$

gde su:  $n_{ci}$  - deklarisan nominalni broj radnih ciklusa pritiskivača prese u jedinici vremena;

x) Dr Predrag V. Popović, dipl.maš.ing., redovni profesor i šef Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu.

xx) Ovaj rad predstavlja deo naučno-istraživačkog projekta: ISTR-AŽIVANJA I RAZVOJ METODA PROJEKTOVANJA I PRORAČUNA SAVREMENIH SREDSTAVA I METODA OBRADJE MATERIJALA DEFORMISANJEM SA ISPITIVANJEM OBRADIVOSTI DOMAĆIH MATERIJALA ZAKLJUČNO DO VERIFIKACIJE U EKSPLOATACIJI, a u čijem finansiranju učestvuje i Republička zajednica nauke SR Srbije.



Slika 1.

što se dešava samo u slučaju rafalnog rada mašine "na prazno", odnosno kada se mašina aktivira, a u njenom radnom prostoru se ne obradjuje materijal.

Kako ovaj slučaj za eksploataciju nije od interesa, to se u ovom radu rasmatra stvarno kretanje pogonskog mehanizma mehaničkih krivajnih presa u procesu obrade materijala, i njegov odraz na proizvodnost mašine.

## 2. ZAKONI KRETANJA POGONSKOG MEHANIZMA

Da bi rasmatranja u ovom radu bila jasna, na slici 2 je shematski prikazan kinematički deo pogonskog mehanizma mehaničkih krivajnih presa (u vidu prostog mehanizma krivaje) sa pritiskivačem, i dati su: zakon promene opterećenja na izvršnom delu prese u toku jednog radnog ciklusa i zakon promene ugaone brzine rotacije krivaje, i to:

- idealizirani - teorijski - zakon promene ugaone brzine, odnosno  $\omega_i = \text{const.}$  i
- stvarni zakon promene ugaone brzine u funkciji promene ugla krivaje krivajnog mehanizma  $\omega_s = \omega(\varphi)$ , za slučaj da je raspoloživa energija mašine sva utrošena u toku jednog radnog ciklusa, odnosno za slučaj potpune

$n_{mn}$  - nominalni broj obrtaja pogonskog motora u jedinici vremena;

$i_{mz}$  - prenosni odnos od motora do zamajca;

$i_R$  - prenosni odnos reduktora i

$i$  - ukupni prenosni odnos od pogonskog motora do izvršnog dela prese,

a on je dobijen pod pretpostavkom da pogonski mehanizam rotira kons-

tantnom ugaonom brzinom, odnosno da je:

$$\omega_i = 2 \cdot \pi \cdot n_{ci} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{mn}}{i} = \text{const.} \quad (2)$$

što se dešava samo u slučaju rafalnog rada mašine "na prazno", odnosno kada se mašina aktivira, a u njenom radnom prostoru se ne obradjuje materijal.

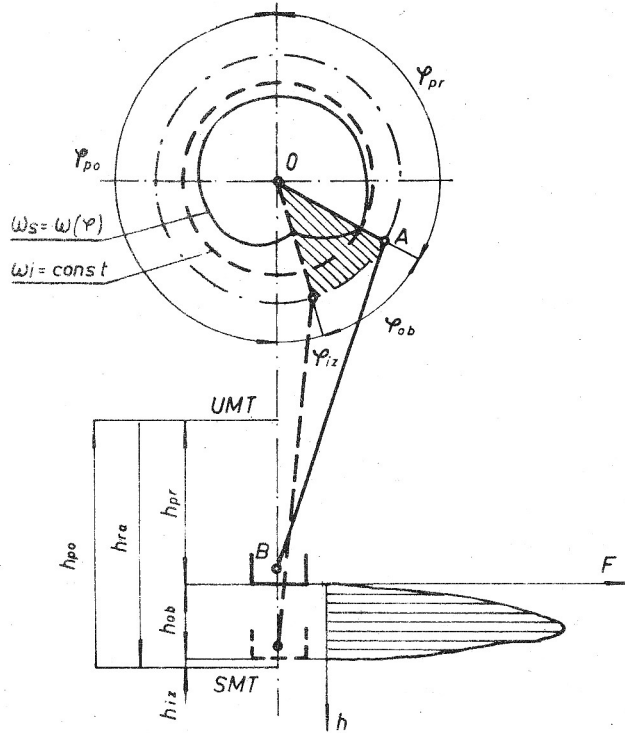
Kako ovaj slučaj za eksploataciju nije od interesa, to se u ovom radu rasmatra stvarno kretanje pogonskog mehanizma mehaničkih krivajnih presa u procesu obrade materijala, i njegov odraz na proizvodnost mašine.

## 2. ZAKONI KRETANJA POGONSKOG MEHANIZMA

Da bi rasmatranja u ovom radu bila jasna, na slici 2 je shematski prikazan kinematički deo pogonskog mehanizma mehaničkih krivajnih presa (u vidu prostog mehanizma krivaje) sa pritiskivačem, i dati su: zakon promene opterećenja na izvršnom delu prese u toku jednog radnog ciklusa i zakon promene ugaone brzine rotacije krivaje, i to:

- idealizirani - teorijski - zakon promene ugaone brzine, odnosno  $\omega_i = \text{const.}$  i
- stvarni zakon promene ugaone brzine u funkciji promene ugla krivaje krivajnog mehanizma  $\omega_s = \omega(\varphi)$ , za slučaj da je raspoloživa energija mašine sva utrošena u toku jednog radnog ciklusa, odnosno za slučaj potpune

usaglašenosti potreba u procesu obrade materijala i mogućnosti mašine.



Slika 2.

Na istoj slici je, takodje, prikazan struktuisano predjeni put izvršnog dela prese u jednom radnom ciklusu, a koji je definisan izrazom:

$$h = h_{ra} + h_{po} = h_{pr} + h_{ob} + h_{iz} + h_{po} \quad (3)$$

gde su:  $h$  - predjeni put pritiskivača u jednom radnom ciklusu;  
 $h_{ra}$  - radni hod pritiskivača;  
 $h_{po}$  - povratni hod pritiskivača;  
 $h_{pr}$  - hod približavanja;

$h_{ob}$  - hod izvršnog dela prese na kome se obradi predmet rada  $i$

$h_{iz}$  - predjeni put pritiskivača od momenta završetka procesa obrade predmeta rada do momenta kada on dostigne spoljašnju mrtvu tačku (SMT).

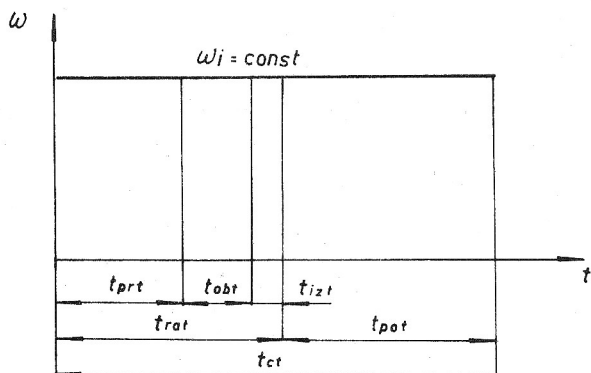
### 2.1. Idealizirani zakon kretanja pogonskog mehanizma

Strukturiranjem teorijskog vremena ( $\omega_i = \text{const.}$ ) jednog radnog ciklusa:

$$t_{ct} = n_{ci}^{-1} \quad (4)$$

dobija se da je:

$$t_{ct} = t_{rat} + t_{pot} = t_{prt} + t_{obt} + t_{izt} + t_{pot} \quad (5)$$



Slika 3.

gde su:

$$t_{rat} = t_{pot} = \bar{n} \cdot \omega_i^{-1} \quad (6)$$

$$t_{prt} = \varphi_{pr} \cdot \omega_i^{-1} \quad (7)$$

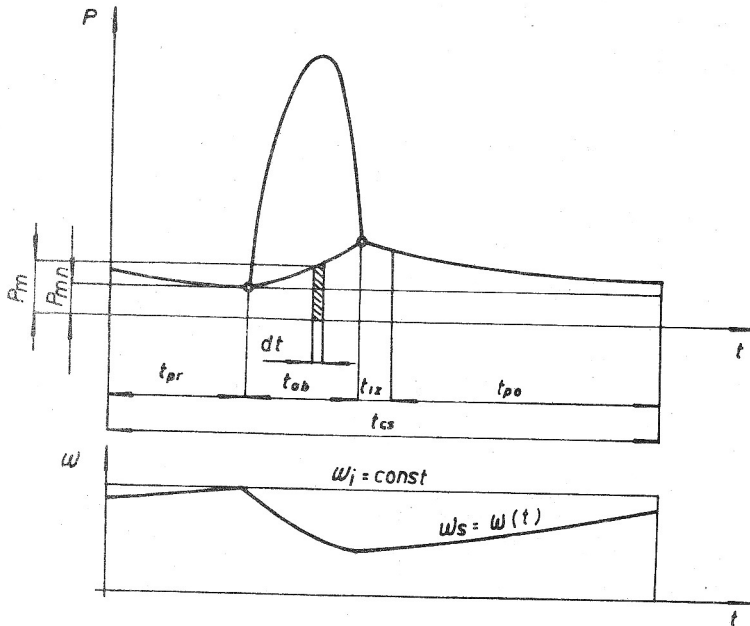
$$t_{obt} = \varphi_{ob} \cdot \omega_i^{-1} \quad (8)$$

$$t_{izt} = \varphi_{iz} \cdot \omega_1^{-1} \quad (9)$$

Grafički prikaz strukturiranog teorijskog vremena jednog radnog ciklusa dat je slici 3.

## 2.2. Stvarni zakon kretanja pogonskog mehanizma

Ako se analizira stvarni zakon promene snage u funkciji vremena u toku jednog radnog ciklusa za idealizirani slučaj iskorišćenja raspoloživog rada mašine, kako je prikazano na slici 4,



Slika 4.

tada se konstatuje da se energija za deformisanje predmeta rada i savladjivanje svih drugih otpora (otpor kretanju pogonskog mehanizma od sila trenja, otpor elastičnom deformisanju elemenata mašine, itd.) u procesu oblikovanja materijala dobija od energetskog dela pogonskog mehanizma prese, i da je u ovom slučaju:

$$W = W_z + W_m \quad (10)$$

odnosno:

$$W = \frac{1}{2} \cdot J_z \cdot (\omega_{zn}^2 - \omega_{zmin}^2) + \int_{t=0}^{t=t_{ob}} P_m \cdot dt \quad (11)$$

- gde su:  $W$  - ukupna energija koju oda energetski deo pogonskog mehanizma prese u procesu oblikovanja materijala, odnosno periodu vremena ( $t_{ob}$ );  
 $W_z$  - deo energije koju obezbedjuje zamajac;  
 $W_m$  - deo energije koju obezbedjuje pogonski motor;  
 $J_z$  - moment inercije zamajca;  
 $\omega_{zn}$  - nominalna ugaona brzina rotacije zamajca, koja odgovara nominalnom broju obrtaja pogonskog motora, a koja je definisana izrazom:

$$\omega_{zn} = \frac{\omega_{mn}}{i_{mz}} = \frac{2 \cdot \bar{n} \cdot n_{mn}}{i_{mz}} \quad (12)$$

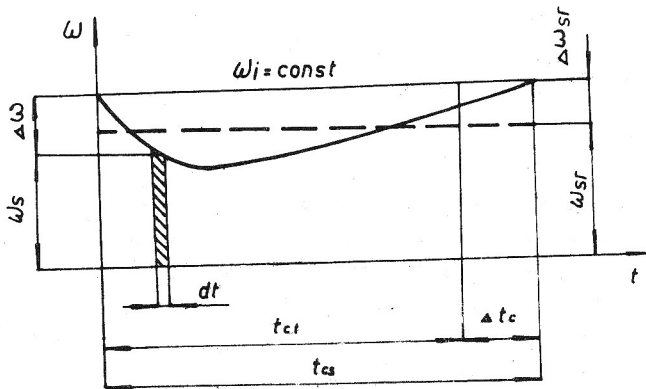
- $\omega_{zmin}$  - ugaona brzina zamajca na završetku procesa obrade predmeta rada pod pretpostavkom da je upotpunosti iskorišćen dozvoljeni pad broja obrtaja motora i  
 $P_m$  - snaga pogonskog motora, koja je u opštem slučaju funkcija vremena:

$$P_m = P(t) \quad (13)$$

Prikazivanjem teorijskog i stvarnog zakona promene ugaone brzine u funkciji vremena u toku jednog radnog ciklusa izvršnog dela mašine, što je učinjeno na slici 5, dobija se:

$$\omega_{sr} \cdot t_{cs} = \int_{t=0}^{t=t_{cs}} \omega_s \cdot dt = \int_{t=0}^{t=t_{cs}} \omega(t) \cdot dt \quad (14)$$

i za  $\varphi = 2 \cdot \bar{n}$  je:



Slika 5.

$$\omega_{ci} \cdot t_{ct} = \omega_{sr} \cdot t_{cs} \quad (15)$$

odakle se dobija:

$$t_{cs} = \frac{\omega_i}{\omega_{sr}} \cdot t_{ct} = \left(1 + \frac{\Delta\omega_{sr}}{\omega_{sr}}\right) \cdot t_{ct} \quad (16)$$

odnosno:

$$t_{cs} = t_{ct} + \Delta t_c \quad (17)$$

gde su:  $t_{cs}$  - stvarno vreme jednog radnog ciklusa,  
 $\omega_{sr}$  - srednja vrednost ugaone brzine rotacije krivaje  
 krivajnog mehanizma,  
 $\Delta\omega_{sr}$  - srednja vrednost pada ugaone brzine rotacije kri-  
 vaje krivajnog mehanizma, koja je definisana izr-  
 azom:

$$\Delta\omega_{sr} = \omega_i - \omega_{sr} \quad (18)$$

i

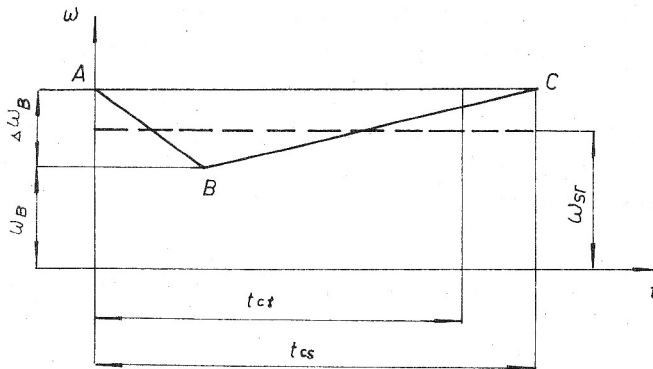
$$t_c = \frac{\Delta\omega}{\omega_{sr}} \cdot t_{ct} \quad (19)$$

pa je stvarni broj radnih ciklusa izvršnog dela mašine u jedinici vremena:

$$n_{cs} = t_{cs}^{-1} = \frac{\omega_{sr}}{\omega_i} \cdot n_{ci} \quad (20)$$

### 2.3. Uprošćeni stvarni zakon kretanja pogonskog mehanizma

Radi uprošćenja proračuna, ne čineći praktično veliku grešku, može se stvarni zakon promene ugaone brzine krivaje krivajnog mehanizma zameniti dvema linearnim funkcijama, kako je prikazano na slici 6 dužima AB i BC, pa se u tom slučaju dobija:



Slika 6.

$$\omega_B \cdot t_{cs} + \frac{1}{2} \cdot \Delta\omega_B \cdot t_{cs} = \omega_i \cdot t_{ct} \quad (21)$$

odakle je:

$$t_{cs} = p_1 \cdot t_{ct} \quad (22)$$



gde je:

$$P_1 = \frac{2 \cdot \omega_i}{\Delta \omega_B + 2 \cdot \omega_B} \cdot t_{ct} \quad (23)$$

pa je stvarni broj radnih ciklusa pritiskivača prese u jedinici vremena:

$$n_{cs} = n_{sr} = n_{ci} - \frac{1}{2} \cdot \Delta n_B \quad (24)$$

gde su:  $\omega_B$  - minimalna vrednost ugaone brzine rotacije krivaje krivajnog mehanizma u toku jednog radnog ciklusa pritiskivača prese;

$\Delta \omega_B$  - maksimalna vrednost pada ugaone brzine rotacije krivaje krivajnog mehanizma prese i

$\Delta n_B$  - pad broja obrtaja glavnog vratila u jedinici vremena, koji odgovara maksimalnom padu ugaone brzine rotacije krivaje, odnosno glavnog vratila mašine.

Najzad, analogno relaciji (4), dobija se i izraz za izračunavanje stvarnog broja radnih ciklusa izvršnog dela prese u jedinici vremena oblika:

$$n_{cs} = t_{cs}^{-1} = P_1^{-1} \cdot t_{ct}^{-1} = \frac{\Delta \omega_B + 2 \cdot \omega_B \cdot n_{ci}}{2 \cdot \omega_i} \quad (25)$$

Prednost uprošćenog stvarnog zakona kretanja pogonskog mehanizma, pa time i uprošćenog proračuna stvarnog broja radnih ciklusa izvršnog dela mehaničkih krivajnih presa se ogleda u tome, što je dovoljno snimiti najmanju ugaonu brzinu ( $\omega_B$ ) za neki proces obrade odredjenog predmeta rada, a ne zakon promene ugaone brzine u periodu jednog radnog ciklusa, jer se u konačnom bilansu pri tome čini relativno mala - za praksu - neznatna greška.

Konačno, vrlo jednostavnim, preciznijim merenjem broja stvarnih radnih ciklusa pritiskivača prese u rafalnom režimu njenog

rada u nekom intervalu vremena, može se doći do parametara neophodnih za definisanje uprošćenog stvarnog zakona kretanja pogonskog mehanizma, a koji može korisno poslužiti za mnoga druga teorijska razmatranja.

### 3. ZAVRŠNA RASMATRANJA

U radovima /1/ i /2/ je izneto - za rafalni režim rada mašine - da količinska, težinska i površinska proizvodnost rastu sa povećanjem stepena iskorišćenja raspoložive energije i povećanjem stepena iskorišćenja nominalne sile mašine, pri čemu je u njima razmatran idealan slučaj: da je broj radnih ciklusa izvršnog dela mašine nepromenljiv i jednak deklarisanom nominalnom broju radnih ciklusa ( $\omega_1 = \text{const.}$ ).

Medjutim, porast stepena iskorišćenja raspoložive energije mašine dovodi do porasta pada broja obrtaja celog njenog pogonskog mehanizma, što izaziva smanjenje stvarnog broja radnih ciklusa njenog izvršnog dela u jedinici vremena ( $n_{cs} < n_{ci}$ ), pa time, konačno, i smanjenja njene proizvodnosti.

Prema tome su parametri: stepen iskorišćenja raspoložive energije mašine i stvarni broj radnih ciklusa njenog izvršnog dela u međusobnoj funkcionalnoj vezi tako, da utiču jedan na drugog obrnuto proporcionalno, pa shodno tome utiču suprotnosmerno i na njenu proizvodnost.

Iz ovog proističe jasan zaključak, da je neophodno pri projektovanju mašine ili postavljanju uslova njenog eksploatacionog iskorišćenja, tražiti optimalno rešenje, odnosno rešenje pri kojim vrednostima ( $W_r$ ) i ( $n_{cs}$ ) se dobija maksimalna proizvodnost.

### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovi izloženog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Razmatranja problema proizvodnosti mehaničkih krivajnih presa u rafalnom režimu rada, pri kojima se broj radnih ciklusa njihovog izvršnog dela uzima kao poznata i nepromenljiva vrednost, može dovesti do osetnih odstupanja u odnosu na stvarnost, pa je s toga neophodno sprovesti korigovan proračun u smislu traženja optimalnog rešenja.

2. U pojedinačnom režimu rada sprovođenje korekture proračuna proizvodnosti nema smisla, jer stvarni zakon promene kretanja pogonskog mehanizma, u ovom slučaju, nema uticaja na proizvodnost, pošto je - obično - međuciklusno vreme veće od vremena ( $\Delta t_c$ ).

#### L i t e r a t u r a:

- /1/ P.V.POPOVIĆ: Prilog rasmatranju problema proizvodnosti po količini obradjenih elemenata i stepen iskorišćenja u mehaničkim krivajnih presa. Časopis "Tehnika", Beograd, br. 2, 1975.
- /2/ P.V.POPOVIĆ: Prilog rasmatranju problema proizvodnosti mašina za obradu materijala deformisanjem. Zbornik radova Naučno-stručnog skupa "Obrada deformisanjem" Banja Luka 1977.

P.POPOVIĆ

#### PRODUKTIVITÄTBEEINFLUSSUNG DURCH GESETZ VON BEWEGUNGSÄNDERUNG DES ANTRIEBSMECHANISMUS DER MACHANISCHEN KURBELPRESSEN

##### Zusammenfassung

Bei Umformmaschinen der periodischen Wirkung, d.h. auch bei mechanischen Kurbelpressen, eine von gründlichen Kenngrößen ist die Nominalzahl der Arbeitszyklen von Stößel in der Zeiteinheit.

In dieser Arbeit betrachtet man die wirkliche Bewegung des Antriebsmechanismus der Kurbelpressen beim Umformen und deren Einfluss auf die Produktivität der Maschine.