

Analiza uticaja pojedinih parametara na ravnomernost kretanja klizača mašina alatki

Marinković, D., Zeljković, M., Mladenović, C., Knežev, M.

Departman za proizvodno mašinstvo

Fakultet tehničkih nauka

Novi Sad, Republika Srbija

dejan.marinkovic@uns.ac.rs

milanz@uns.ac.rs

mldja@uns.ac.rs

knezev@uns.ac.rs

Sažetak – Kod automatizovanih mašina alatki pogonsko - prenosni sistem pomoćnog kretanja ima veliki uticaj na tačnost obrade. U radu se razmatra uticaj određenog broja parametara na ravnomernost kretanja klizača mašina alatki. Varirano je pet konstrukciono – eksploatacionih parametara, dva konstrukciona i tri eksploataciona. Definisan je plan eksperimenta po metodi Tagučić, L_{36} (2^2 i 3^3), dva parametra na dva i tri parametra na tri nivoa, pri čemu je jedan konstrukcioni i jedan eksploatacioni na dva i jedan konstrukcioni i dva eksploataciona na tri nivoa. Cilj rada je da se odredi redosled i nivo razmatranih uticaja na neravnomerno kretanje klizača mašina alatki. Na taj način će se pokušati odgovoriti i na mogućnost eliminisanja neravnomernog kretanja u eksploataciji, u slučaju kada konstrukcioni parametri nisu odgovarajući.

Ključne riječi - NU mašine alatke; pogonsko prenosni sistem pomoćnog kretanja; neravnomernost kretanja klizača mašina alatki; trenje klizanja;

I. UVOD

Mašine alatke moraju da ostvare veoma stroge zahteve u pogledu tačnosti i kvalitetu obrade obratka. Pored tačnosti i kvaliteta vrlo je važno ostvariti i visoku ekonomičnost, proizvodnost i rentabilnost mašina alatki. Pri projektovanju mašina alatki, osnovni zahtevi tokom vremena, su povećanje tačnosti, proizvodnosti, ekonomičnosti i nivoa automatizacije, kao i povećanje njihove pouzdanosti. Metodologija projektovanja iz druge polovine dvadesetog primenjuje se i u dvadeset prvom veku pa se tako projektovanje mašina alatki temelji na sličnosti sa dobro izvedenim postojećim konstrukcionim rešenjima, na proračunima i ispitivanjima konstruktora. Projektovanje savremenih visokoautomatizovanih mašina alatki poput numerički upravljanih, kompjuterski upravljanih i adaptivno upravljanih u današnje vreme predstavlja veoma složen proces uzimajući u obzir celokupne zahteve na koje ovakvi sistemi treba da daju odgovor [1].

Za prenosne sisteme pomoćnog kretanja javljaju se novi prilazi u projektovanju. Ovo je posebno važno jer je sistem pomoćnog kretanja veoma osetljiv i njegov način projektovanja značajno utiče na tačnost kretanja i pozicioniranja klizača

mašina alatki, odnosno na samu tačnost obrade. Usled pojave neravnomernog kretanja (stick-slip-a) pri sporom kretanju klizača, koje zavisi od ne malog broja parametara, veoma je teško pronaći odgovarajuća rešenja za sisteme pomoćnih kretanja mašina alatke ukoliko se ne pristupi prethodnim modelskim ispitivanjima, koja imaju za cilj da daju odgovor na pitanje minimalnih vrednosti određenih konstrukcionih parametara prenosnog sistema za pomoćno kretanje [2].

U svrhu proučavanja pojave neravnomernog kretanja klizača mašina alatki, sprovedena je analiza konkretnog mehaničkog sistema pomoćnog kretanja, kako bi se planiranim eksperimentom, odredila zavisnost među parametrima koji utiču na veličinu amplitude neravnomernog kretanja klizača. Pri eksperimentalnom ispitivanju razmatrano je pet parametara: materijal klizača i krutost pogonskog sistema, kao konstrukcioni, vrsta ulja za podmazivanje kliznih površina, brzina kretanja klizača i veličina pritiska na vođicama kao eksploatacioni parametri [1].

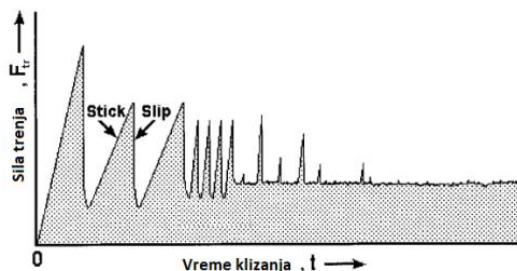
U radu su kroz drugo poglavlje date teorijske osnove pojave neravnomernog kretanja (stick-slip), za čije je ispitivanje projektovan eksperimentalni uređaj. Na osnovu plana eksperimenta po metodi Tagučić, eksperimentalna ispitivanja su sprovedena primenom odgovarajuće instrumentacije za merenje pojave stick-slip-a, koje se manifestuje skokovitim kretanjem klizača.

II. TEORIJSKE OSNOVE POJAVE NERAVNOMERNOG KRETANJA (STICK-SLIP-A) KLIZAČA MAŠINA ALATKI

Kod sistema za upravljanje numeričkih mašina alatki najvažnije je relativno vođenje alata u odnosu na obradak prema zadatom upravljačkom programu. Tačnost navedenog kretanja u mnogome remeti pojava stick-slip efekta. Pojava neravnomernog kretanja (stick-slip) može se uočiti i u svakodnevnim pojavama kao što su: škripa vrata, zvuk kočnica, škripanje zuba, zemljotres i zvuk violinske žice. Mehanički delovi često se ne kreću ujednačeno već u trzajima poznatim pod nazivom stick-slip. Stick-slip može biti pravilan (ponavljajući ili periodični) ili nepravilan (nestalan ili naizmeničan). U slučaju pojave nepravilnog, stick-slip može

imati ozbiljne i često neželjene posledice dajući za rezultat buku, visoke gubitke energije (trenje), površinska oštećenja (habanje) pa čak i otkaz određenih komponenata sistema [3].

Model površinske hrapavosti objašnjava pojavu stick-slip-a u uslovima kada dolazi do sudara neravnina na klizaču i na vođici. Kretanje klizača po vođici izaziva pojavu sile otpora. Kada klizač dosegne vrh neravnine, brzo sklizne na ravan deo vođice što rezultira pojavom neravnomernog kretanja (stick-slip-a). Neravnomerno kretanje se manifestuje naglim padom sile trenja, kao što je prikazano na slici 1. Vrednost sile trenja u funkciji vremena pokazuje pravilan ili nepravilan stick-slip u zavisnosti da li je i sama valovitost površine pravilna ili ne. Kontrolni parametar ovog modela stick-slip-a je topologija površine. Pored toga, materijal sa većom tvrdoćom u eksploataciji će imati kraći vremenski interval klizanja. Povećanjem tvrdoće materijala smanjuju se plastične deformacije tokom klizanja [4].



Slika 1. Grafički prikaz neravnomernog kretanja (stick-slip-a) pri klizanju

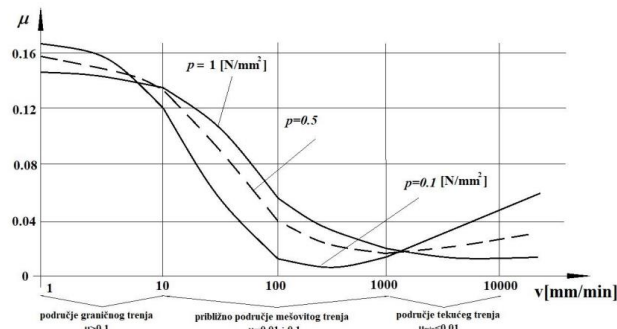
Definisanje parametara koji utiču na ravnomernost kretanja klizača mašina alatki

Pri eksperimentalnom ispitivanju ravnomernosti kretanja klizača mašina alatki varirani su sledeći uticajni parametri:

- materijal klizača,
- krutost pogona (C),
- vrsta ulja za podmazivanje,
- brzina kretanja klizača (v),
- površinski pritisak (p),

Jedan od nekonvencijalnih materijala na bazi politetrafluor etilena koji se sve više koristi za oblaganje klizača mašina alatki je tarcit. Tarcit je polimer visokih performansi koji se često koristi za izradu kliznih elemenata kod mašina alatki. Drugi materijala klizača koji se često koristi u svakodnevnoj inženjerskoj praksi, je srednje ugljenični čelik visoke čvrstoće (Č.1530). Za podmazivanje sistema klizanja pri izvođenju eksperimenta korišćena su dva ulja proizvođača FAM iz Kruševca (Fampol KS 68 i Famicirkol 3). Za donju graničnu brzinu kretanja klizača mašina alatki definisana je vrednost $v_{pmin} = 2$ [mm/min], jer se u realnim sistemima retko koriste brzine manje od ove. Za gornju granicu odnosno maksimalnu vrednost brzine usvojena je vrednost $v_{pmax} = 18$ [mm/min], koja je odabrana tako da pri toj brzini i nivoima drugih parametara još uvek postoji pojava neravnomernog kretanja. Za srednju vrednost puzeće brzine izabrana je srednja aritmetička vrednost minimalne i maksimalne $v_{psr} = 10$ [mm/min] [2]. Vrednosti površinskih pritisaka od $p_{min} = 0.0266$ [N/mm²], $p_{sr} = 0.1133$

[N/mm²] i $p_{max} = 0.2$ [N/mm²] određene su na bazi dijagrama prikazanog na slici 2, koji pokazuje zavisnost koeficijenta trenja od brzine i pritiska. Za granične vrednosti krutosti prenosnog sistema definisane su vrednosti $C_{min} = 200$ [N/mm], $C_{sr} = 300$ [N/mm] i $C_{max} = 400$ [N/mm], tako da bi se pri minimalnoj vrednosti krutosti pojavile amplitude koje se mogu registrovati, a pri maksimalnoj krutosti nastaje još uvek pojava neravnomernog kretanja.



Slika 2. Zavisnost koeficijenta trenja klizanja od brzine i pritiska [6]

Pri planiranju eksperimentalnog ispitivanja variranje parametara treba da bude prilagođeno željenoj oblasti istraživanja u kojoj se očekuje dobijanje eksperimentalnih rezultata. Raspon variranja zavisi i od opsega merne instrumentacije i opreme koja se nalazi na raspolaganju, kao što su pribori, mašine, aparati za ispitivanje itd [1]. Za ispitivanje eksperimentalnih rezultata usvojen je Tagučijev plan eksperimenta L_{36} (2^2 i 3^3), odnosno dva parametara su na dva, a tri parametara na tri nivoa.

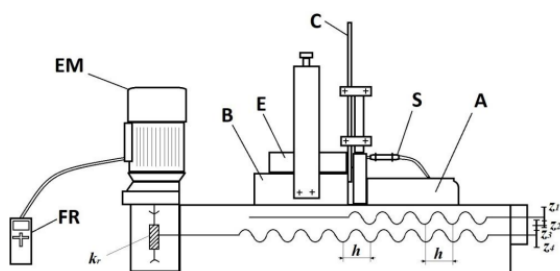
III. OPIS EKSPERIMENTALNOG ISPITIVANJA

Eksperimentalno ispitivanje je izvedeno u Laboratoriji za mašine alatke na Departmanu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu na posebnom uređaju projektovanom za merenje stick-slip efekta pri kretanju klizača mašina alatki. Pre početka eksperimentalnog ispitivanja izvršena je detaljna priprema samog uređaja kako bi se stekli svi potrebni uslovi za njegovo izvođenje. Eksperimentalni štand, korišćen pri ispitivanju, omogućava variranje najuticajnijih parametara i samim tim omogućava široku mogućnost za eksperimentalno istraživanje [1].

Šematski prikaz uređaja za ispitivanje pojave stick-slip efekta, predstavljen na slici 3, sastoji se od dva klizača A i B, koji se pomeraju u istom smeru. Klizači dobijaju pogon od pogonskog elektromotora (EM), koji je priključen na frekventni regulator (FR). Kretanje se dalje prenosi preko pužnog prenosnika (k_r) koji prenosi obrtno kretanje na zavojno vreteno klizača B. Pogon na zavojno vreteno klizača A prenosi se preko grupe izmenljivih zupčanika (z_1, z_2, z_3, z_4).

Na klizač A postavljen je pogonski sistem promenljive krutosti C, pomoću koga se vrši pomeranje eksperimentalnog klizača E pri brzini kretanja v . Uzimajući u obzir da je apsolutna brzina klizača A i B znatno veća od kritičnih brzina pri njihovom kretanju ne može da dođe do pojave stick-slip-a, a eventualna pojava neravnomernog kretanja ne može da utiče na rezultate eksperimentalnih ispitivanja samim tim što će se

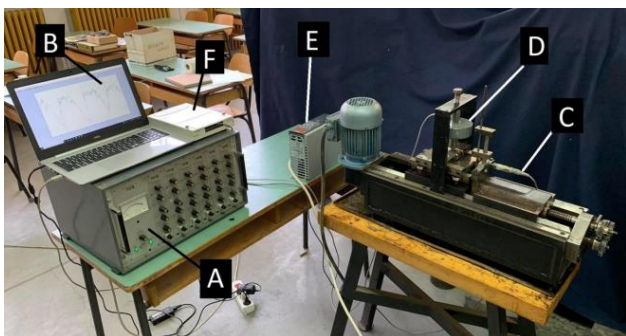
merenje pomeranja klizača E vršiti relativno u odnosu na pogonski klizač A pomoću senzora S [1].



Slika 3. Šematski prikaz uređaja za merenje neravnomernog kretanja kod klizača mašina alatki

Za merenje i detektovanje neravnomernog kretanja klizača mašine alatke korišćena je sledeća instrumentacija, prikazana na slici 4:

- A. pojačivač mernih signala Hottinger Baldwin Messtechnik KWS/6A-5
- B. PC računar za obradu podataka
- C. induktivni senzor (davač) položaja Hottinger Baldwin Messtechnik WIT/2
- D. dinamometar Hottinger Baldwin Messtechnik Q3
- E. frekventni regulator za promenu opsega brzina kretanja klizača – Danfoss FC302
- F. kartica za konverziju analognog signala u digitalni - National Instruments NI USB-6281



Slika 4. Merna instrumentacija

Tagučni plan eksperimenta

Nakon definisanja parametara eksperimenta i njihovih nivoa, određen je i plan eksperimenta po metodi Tagučić. Pri izvođenju eksperimenta postoje upravljani i neupravljani parametri. Upravljani parametri su oni koje se mogu kontrolisati, a neupravljani parametri tzv. parametri šuma predstavljaju parametare koji su teški za identifikaciju i kontrolu. U tabeli 1 prikazani su ulazni upravljani parametri i njihovi nivoi na osnovu kojih je definisan plan eksperimenta, ortogonalni niz po Tagučiću, $L_{36} (2^2 \text{ i } 3^3)$. Plan eksperimenta dobijen je korišćenjem softvera Minitab.

TABELA I ULAZNI PARAMETRI I NJIHOVI NIVOI

Parametri	Nivoi		
	1	2	3
Brzina klizača v [mm/min]	2	10	18
Površinski pritisak p [N/mm ²]	0,0266	0.1133	0.2
Krutost pogona C [N/mm]	200	300	400
Materijal klizača	Tarcit	Č.1530	
Vrsta ulja za podmazivanje	Fampol KS 68	Famcirkol 3	

IV. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE I PRIKAZ REZULTATA

Pre početka ispitivanja uređaj je pripremljen kako bi se stekli svi uslovi za početak merenja. Elektromotor je povezan sa frekventnim regulatorom Danfoss FC302, dinamometar Hottinger Baldwin Messtechnik Q3 i induktivni davač položaja Hottinger Baldwin Messtechnik WIT-2 postavljeni su na odgovarajuća mesta i povezani sa A/D karticom National Instruments NI USB-6281 i PC računom. Eksperimentalna ispitivanja su sprovedena po prethodno definisanom Tagučićevom planu koji sadrži tridesetšest merenja. Između svakog, od pomenutih tridesetšest merenja, u povratnom hodu otklanjan je zazor između klizača A i B, a vremenski interval između svakog merenja iznosio je pet minuta, u cilju uspostavljanja statičkog koeficijenta trenja klizanja. Pri promeni vrste ulja vršeno je otklanjanje maziva sa kliznih površina koristeći odogovarajuće sredstvo za odmašćivanje.

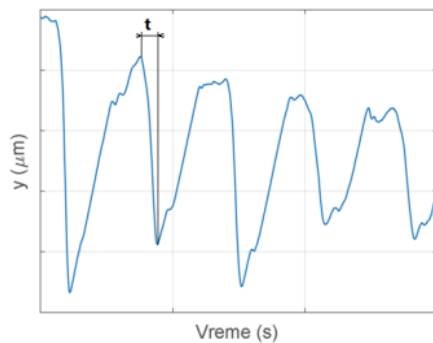
U tabeli 2 dat je prikaz rezultata eksperimentalnih ispitivanja pri čemu vrednost amplitude neravnomernog kretanja Y predstavlja srednju vrednost prvih tri skoka. Na grafičkom prikazu se može videti da je prvi skok najveći, dok ostali opadaju (slika 5). Navedenu pojavu objašnjava promena koeficijenta trenja klizanja. Kod prvog skoka vrednost koeficijenta trenja klizanja odgovara statičkom koeficijentu trenja, a nadalje je reč o kinematskom koeficijentu trenja. Vrednosti "t" u tabeli 2 odgovaraju prvom skoku pri neravnomernom kretanju.

TABELA II TAGUČI ORTOGONALNI NIZ $L_{36} (2^2 \text{ i } 3^3)$

R br.	Materijal	Ulje ^a	Brzina	Pritisak	Krutost	Y [μm]	t [ms]
1	Tarcit	F68	2	0.0266	200	0	0
2	Tarcit	F68	10	0.1133	300	15	30
3	Tarcit	F68	18	0.2	400	25	50
4	Tarcit	F68	2	0.0266	200	0	0
5	Tarcit	F68	10	0.1133	300	15	30
6	Tarcit	F68	18	0.2	400	20	30
7	Tarcit	F68	2	0.0266	300	6	117
8	Tarcit	F68	10	0.1133	400	14	40
9	Tarcit	F68	18	0.2	200	37	35
10	Tarcit	F3	2	0.0266	400	3	70
11	Tarcit	F3	10	0.1133	200	26	50
12	Tarcit	F3	18	0.2	300	39	40
13	Tarcit	F3	2	0.1133	400	9	130
14	Tarcit	F3	10	0.2	200	24	40
15	Tarcit	F3	18	0.0266	300	8	40

16	Tarcit	F3	2	0.1133	400	11	180
17	Tarcit	F3	10	0.2	200	38	50
18	Tarcit	F3	18	0.0266	300	8	20
19	Č.1530	F68	2	0.1133	200	85	60
20	Č.1530	F68	10	0.2	300	52	30
21	Č.1530	F68	18	0.0266	400	22	20
22	Č.1530	F68	2	0.1133	300	88	70
23	Č.1530	F68	10	0.2	400	68	40
24	Č.1530	F68	18	0.0266	200	23	20
25	Č.1530	F68	2	0.2	300	69	70
26	Č.1530	F68	10	0.0266	400	32	30
27	Č.1530	F68	18	0.1133	200	45	30
28	Č.1530	F3	2	0.2	300	75	80
29	Č.1530	F3	10	0.0266	400	57	50
30	Č.1530	F3	18	0.1133	200	29	30
31	Č.1530	F3	2	0.2	400	37	50
32	Č.1530	F3	10	0.0266	200	41	20
33	Č.1530	F3	18	0.1133	300	29	40
34	Č.1530	F3	2	0.2	200	95	60
35	Č.1530	F3	10	0.0266	300	57	10
36	Č.1530	F3	18	0.1133	400	21	20

^{a)} F68 i F3 predstavljaju skraćenice za ulja Fampol KS 68 i Famicirkol 3



Slika 5. Grafički prikaz pojave neravnomernog kretanja kod klizača mašina alatki

Nakon analize rezultata eksperimentalnog ispitivanja po metodi Taguchi određen je procentualni uticaj materijala klizača, površinskog pritiska, brzine klizača, krutosti pogonsko-prenosnog sistema i vrste ulja za podmazivanje. Navedeni uticaj pojedinačno iznosi respektivno 46,42%; 18,59%; 5,76%; 4,23%, 0,09%; dok greška eksperimenta iznosi 24,91. Relativno velika greška eksperimenta ukazuje na moguću potrebu usavršavanja opitnog uređaja. Jedna od mogućnosti su zavojna vretena koja sa navrtkom imaju klizni spoj, da se ugrade zavojnih vretena i navrtke sa recirkulacijom kuglica. Na ovaj način će se smanjiti pojava šuma eksperimenta koji nastaje zbog sprege između navrtke i zavojnog vretena [5].

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno definisanog plana eksperimenta, izvršeno je eksperimentalno ispitivanje pojave stick-slip efekta pri sporom kretanju klizača mašina alatki. Obradom rezultata definisan je redosled uticaja signifikantnih parametara koji prikazuje zavisnost veličine amplitude neravnomernog kretanja. Materijala klizača kao konstrukcioni i površinski pritisak na vođicama kao eksploatacioni parametar imaju

veliki uticaj na veličinu amplitude neravnomernog kretanja, a time i na tačnost mašina alatki. To je, između ostalog, razlog što najveći broj proizvođača mašina alatki koriste materijale na bazi politetrafluoretilena (PTFE) za oblaganje klizača (turcite, SX 100, SKC 60, ...). Isto tako pri dimenzionisanju vođica treba težiti da površinski pritisak bude što manji. Ovo se potvrđuje i činjenicom da je vrednost dozvoljenog površinskog pritiska na vođicama tačnih mašina alatki (brusilica) za red veličina manji nego kod mašina alatki normalne tačnosti. Takođe se pri projektovanju može značajno uticati na krutost pogonsko-prenosnog sistema, kao konstrukcionog parametara, koja treba da bude što veća. Na eksploatacioni parametar, brzinu klizača se može neznatno uticati obzirom da se pozicioniranje klizača mašina alatki najčešće vrši brzinom puzećeg hoda, koja treba da je što manja. Eksperimentalna ispitivanja, prema navedenom planu eksperimenta, su pokazala mali uticaj ulja za podmazivanje. Da bi se navedeno potvrdilo neophodno je izvršiti eksperimentalna ispitivanja po planu samo sa jednom kombinacijom materijala kliznih površina, obzirom da podaci iz literature ukazuju da je u eksploataciji najlakše zameniti ulje za podmazivanje vođica i da isto daje zadovoljavajuće rezultate tačnosti pozicioniranja u određenim uslovima.

LITERATURA

- [1] V. M. Marić, "Ispitivanje ravnomernosti kretanja klizača mašina alatki," Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 86 str, 1977.
- [2] J. Rekecki, R. Gatalo, Lj. Borojev, J. Hodolič, M. Zeljković, "Prilog projektovanju prenosnog sistema pomoćnog kretanja mašina alatki visoke osetljivosti na bazi eksperimentalnog modeliranja," Drugo jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numerički upravljanih mašina alatki i robota, Beograd, 1978.
- [3] N. Kovačević, "Ispitivanje uticaja krutosti pogona, opterećenja i vrste maziva na ravnomernost kretanja klizača mašina alatki," Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1976.
- [4] D. B. Alan, A. D. William, N. I. Jacob, "Origin and characterization of different stick-slip friction mechanisms," *Langmuir*, vol. 12, pp. 4559-4563, 1996.
- [5] S. Dutta, R. N. S. Kumar, "Optimizing turning parameters in the machining of AM alloy using Taguchi Methodology," *Measurement*, 2020.
- [6] Zdenković, R.: Atlas alatnih strojeva, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 1976.

ABSTRACT

In the case of machine tools, the drive-transmission auxiliary movement system has a great influence on the accuracy of machining. The paper considers the influence of a certain number of parameters on the uniformity of the movement of the tool machine sliders. Five construction exploitation parameters were varied. The plan of the experiment was defined according to the Taguchi method. The aim of this paper is to determine the order and level of the considered influences on the uneven movement of the tool machine sliders. In that way, they will try to respond to the possibility of eliminating uneven movement in exploitation.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SOME PARAMETERS ON THE MOVEMENT OF MACHINE TOOLS SLIDER

Marinković, D., Zeljković, M., Mladenović, C., Knežev, M.