

CURSA „MOARTĂ” ȘI ALEGEREA TIPULUI DE LĂGĂRUIRE A ȘURUBULUI CU BILE LA MAȘINILE UNELTE CU COMANDA NUMERICĂ

G. Stan, C. Savin
Universitatea Bacau

INTRODUCERE

Termenul de cursă moartă se referă la suma jocurilor și deformațiilor elastice ale elementelor componente din structura lanțului cinematic, raportată la elementul final care este sania. Lanțurile cinematice de avans cu conturare sunt foarte sensibile la impreciziile care apar de-a lungul traiectoriei. Chiar și mărimile foarte mici ale cursei moarte din fiecare element component tind să se acumuleze în timp ce se schimbă direcția sau viteza. Din acest motiv se fac încercări importante pentru reducerea cursei moarte. Lanțurile cinematice de avans de poziționare sunt mai puțin sensibile la cursa moartă deoarece nu este necesară luarea în considerație a erorii traiectoriei; sunt folosite metode pentru compensarea jocului, deci pentru eliminarea erorii datorate jocului. Acest lucru este posibil deoarece precizia de poziționare este tot ceea ce se cere în cazul lanțului cinematic de avans de poziționare.

1. SURSELE CURSEI „MOARTE”

Sursele cursei moarte sunt: jocul de flanc ca un fenomen asociat cu transmisia, torsiunea în componenții lanțului cinematic, deformațiile axiale ale elementelor componente (în special șurubul cu bile). De asemenea, surse ale cursei moarte pot fi și în componenții traductorului de poziție, în componenții ce asigură ghidarea elementului final care la schimbări de sens produc rotiri mici ale saniei. Dacă, de exemplu, la un lanț cinematic de avans sub acțiunea momentului de torsiune are loc o deformație torsională de θ^0 a șurubului cu bile care are pasul P , cursa moartă este:

$$\text{Cursa moarta} = \frac{\theta^0 P}{360^0}$$

(1)

În cazul când, pe lângă deformația torsională a șurubului, există și deformația axială Δl , atunci cursa moarta va fi:

$$\text{Cursa moarta} = \Delta l + \frac{\theta^0 P}{360^0}; \Delta l = \frac{Fl}{EA} = \frac{4Fl}{E\pi d^2} \quad (2)$$

unde l și d reprezintă lungimea, respectiv diametrul șurubului cu bile iar F este forța axială.

În cazul când există reductor între servomotor și șurubul cu bile, atunci prezența unui joc de flanc se demultiplică cu valoarea raportului de transmitere de la punctul unde se află jocul de flanc la ieșirea din reductor. Cursa moartă va fi:

$$\text{Cursa moartă} = \frac{j\theta^0 P}{i360^0} \quad (3)$$

Unde j și i sunt jocul de flanc, respectiv raportul de transmitere. De aceea, influența jocului de flanc a primelor rapoarte de transmitere asupra cursei moarte este mică, fapt ce face să se poată renunța la preluarea jocului mecanic la aceste rapoarte. De asemenea, în stabilirea valorii cursei moarte un rol indirect (dar decisiv) îl are frecarea din ghidajele elementului mobil al lanțului cinematic. Nivelul acceptabil al cursei moarte a lanțurilor cinematice de avans depinde de mărimea și aplicația mașinii-unelte, precum și de precizia pentru care a fost proiectată. În general, lanțurile cinematice de avans de conturare au o cursă moartă totală mai mică de 0.005 mm. Alte mașini unelte cu comandă numerică cer o precizie mai mică și majoritatea lanțurilor cinematice de avans de poziționare permit o cursă moartă de la 0.01 mm la 0.02 mm. Micșorarea cursei moarte se poate face și prin optimizarea forțelor de prestrângere din lăgărele șurubului cu bile și a piulițelor șurubului.

2. STABILIREA INFLUENȚEI CURSEI „MOARTE” ASUPRA STABILITĂȚII LANȚULUI CINEMATIC

Prezența cursei moarte în structura lanțului cinematic de avans face ca, din momentul apariției mărimii de intrare, mărimea de ieșire să apară după un timp. În figura 1 este prezentat răspunsul ideal al

unui element ce are o cursă moartă. La semnalul X_i , ieșirea X_e va fi:

$$X_e = X_i(t - \tau) \quad (4)$$

unde τ - timpul mort. În cazul elementelor complexe de tip lanț cinematic ieșirea va fi:

$$X_{e\tau}(t) = X_e(t - \tau) \quad (5)$$

Problema stabilității lanțului cinematic de avans în aceste condiții se pune în trei moduri: fie să verificăm dacă un asemenea lanț cinematic de avans este stabil sau nu, fie să determinăm valoarea critică a timpului mort pentru care sistemul își păstrează

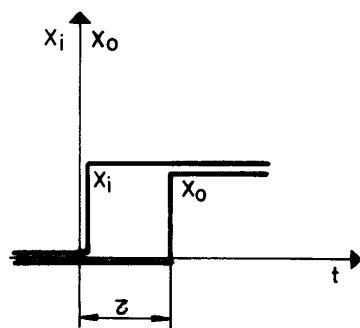


Figura 1. Răspunsul în prezența cursei moarte.

stabilitatea, fie să modificăm parametrii regimului tranzitoriu până se aduce lanțul cinematic de avans în faza de stabilitate.

3. OPTIMIZAREA ALEGERII TIPULUI DE LĂGĂRUIRE A ȘURUBULUI CU BILE

Șuruburile cu bile se pot lăgăruia la unul sau ambele capete, figura 2, după cum urmează:

- a) lăgăruire radial-axială la un capăt;
- b) lăgăruire radial-axială la un capăt și radială la celălalt capăt;
- c) lăgăruire radial-axială la ambele capete ale șurubului.

La forma c) distingem trei cazuri: Cazul C_I , este prevăzut la ambele capete cu lăgăruiri radiale și axiale cu simplu efect, al doilea caz C_{II} prezintă o lăgăruire radial-axială cu dublu efect iar celălalt capăt o lăgăruire radial - axială cu simplu efect, iar în al treilea caz C_{III} avem la ambele capete lăgăruiri radial - axiale cu dublu efect. Sistemul de lăgăruire a) se utilizează în special pentru curse

mici, la mașinile unelte cu comandă numerică de poziționare. Acest sistem poate fi utilizat și pentru curse mijlocii dar pentru poziții verticale ale șurubului. Sistemul de lăgăruire forma b) se utilizează în cazul șuruburilor cu bile medii și lungi, în scopul evitării apariției săgeții la șurub. Și

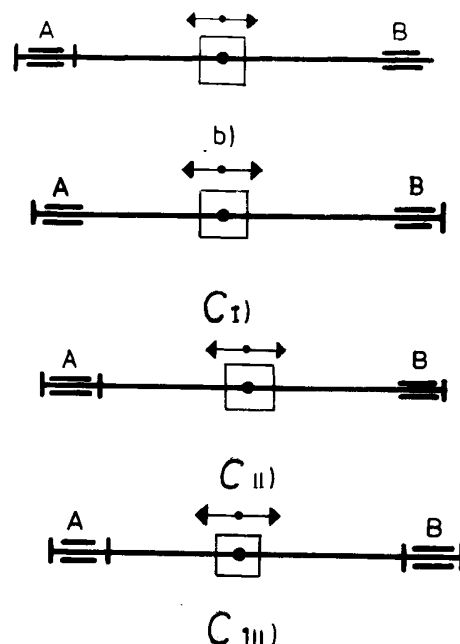


Figura 2. Tipuri de lăgăruire a șuruburilor cu bile.

acest sistem este utilizat la mașinile unelte cu comandă numerică de poziționare. Sistemul de lăgăruire forma c) este cel mai des întâlnit la acționările cu șuruburi cu bile. Cazul C_I oferă o precizie bună, cu condiția preîntinderii șurubului la valoarea corespunzătoare forței generate de șurubul cu bile. Forța totală din șurub este egală cu forța generată de diferența de temperatură dintre șurub și mașina unealtă plus forța de avans F_a . În acest caz pretensionarea rulmenților este determinată de forța de preîntindere a șurubului. Sistemul c), cazul C_{II} , este întâlnit în cazul mașinilor unelte cu comandă numerică de poziționare și în aplicații specifice unde forța de avans are un singur sens (spre lagărul A). În cazul în care forța de avans are sensul spre lagărul B (simplu axial) arborele tinde să se deplaseze față de lagăr. Pentru a evita acest lucru este necesar ca șurubul să fie preîntins cu o forță egală cu forța datorată diferenței de temperatură între șurub și mașina unealtă, plus forța de avans F_a . Acest caz se întâlnește și la mașinile unelte agregat a căror avans pentru așchiere are sens unic. Sistemul c) cazul C_{III} este cel mai des utilizat în cazul mașinilor unelte cu comandă numerică de conturare oferind precizie foarte bună în ambele

sensuri. În cazul comparării sistemelor de lăgăruire nu trebuie luate în considerare deformările elastice ale piulițelor întrucât acestea sunt identice. Pentru sistemele de lăgăruire a) și b), indiferent de poziția piuliței, întreaga forță este repartizată pe lagărul A (dublu axial), figura 3. Deplasarea la piuliță,

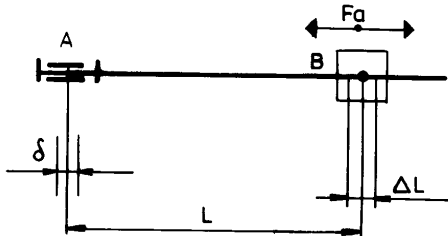


Figura 3. Deformațiile în cazul lăgăruirii la un singur capăt.

Δl (determinată de elasticitatea șurubului), este dată de relația:

$$\Delta l = \frac{F_a L 10^3}{EA} \quad (6)$$

Deplasarea maximă se obține atunci când piulița este la capătul liber al șurubului cu bile.

$$\Delta l_{max} = \frac{F_a L_{max} 10^3}{EA} \quad (7)$$

Sistemele a) și b) nu permit preîntinderea șuruburilor cu bile și ca atare ele nu pot compensa diferența de temperatură.

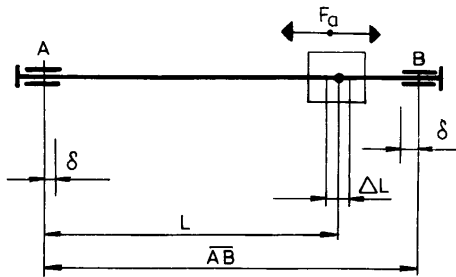
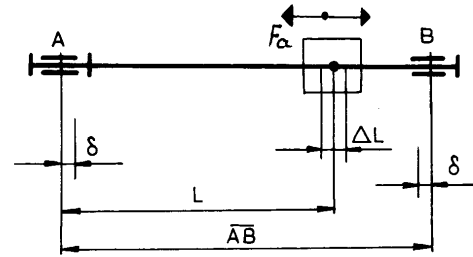


Figura 4. Deformațiile în cazul utilizării sistemului de lăgăruire C_I .

Pentru sistemele de lăgăruire C_I , întreaga forță de avans este repartizată pe unul din lagăre, în funcție de sensul acționării, figura 4. Deformația elastică este la fel ca la sistemele a) și b), având valorile maxime la capetele șurubului funcție de sensul forței de avans F_a . Deformația elastică δ a lagărelor poate fi micșorată prin stabilirea forței de preîncărcare. Valoarea forței de preîncărcare a

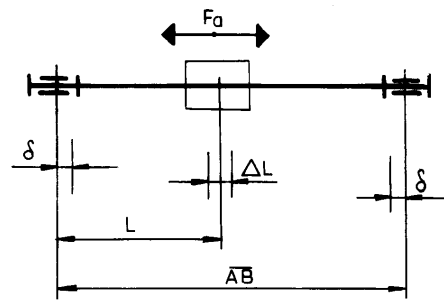
lagărelor este determinată însă de forța de preîntindere a șurubului, care este funcție de diferența de temperatură, plus forța de avans. Acest lucru duce însă la necesitatea alegerii unor rulmenți cu capacități mari. În cazul sistemului C_{II} , când forța F_a acționează înspre lagărul B,

figura 5, se produce o deformare la șurubul cu bile la fel ca la sistemele a) și b), a cărei valoare maximă se obține când piulița se află în apropierea



lagărului B.

Figura 5. Deformațiile în cazul utilizării sistemului



de lăgăruire C_{II} .

Figura 6. Deformațiile în cazul utilizării sistemului de lăgăruire C_{III} .

Și în acest caz este necesar să se efectueze o preîntindere a șurubului, având în vedere atât forțele generate de diferența de temperatură dintre șurub și mașină cât și forțele de avans. Acest lucru duce la supradimensionarea lagărelor. În cazul în care forța F_a acționează înspre lagărul A, se produce o deformare elastică la șurubul cu bile, a cărei valoare maximă se află la mijlocul șurubului:

$$\Delta l_{max} = \frac{F_a AB \times 10^3}{2.2 \times E \times A} \quad (8)$$

Se observă o rigiditate axială a șurubului, în cazul acționării forței de avans spre lagărul simplu B, care este de patru ori mai mică decât în cazul acționării spre lagărul cu dublu efect A.

Sistemul C_{III} este cel indicat a se utiliza la mașinile unelte cu comandă numerică cu conturare și oferă cea mai bună rigiditate, figura 6. Indiferent de sensul acționării forței de avans, spre A sau B, deformația maximă elastică a șurubului se va obține la mijlocul distanței dintre lagăre. În acest caz preîntinderea șurubului se va executa la o forță

corespunzătoare variației de temperatură între șurub și mașină. În figura 7 este prezentată încărcarea

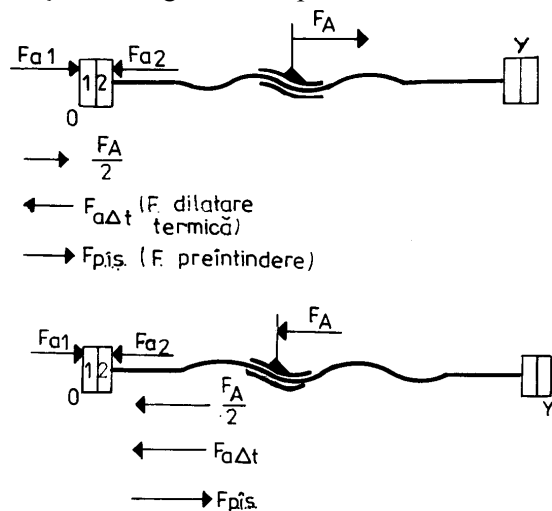


Figura 7. Încărcarea lagărelor din cele două sensuri ale forței de avans

lagărelor, unde forța maximă este F_{amax} , ce acționează asupra lagărelor în cele două cazuri de încărcare. F_{amax} este dată de relația:

$$F_{amax} = \frac{F_A}{2} \pm F_{ps} \pm F_a \Delta t \quad (9)$$

Când $\Delta l = \Delta l_t$, rezultă $F_{amax} = \frac{F_A}{2}$. Deci, la o preîntindere a șurubului egală cu deformația termică introdusă în șurub, lagărele vor fi acționate doar de forța de așchiere.

4. CONCLUZII

Cunoașterea surselor ce determina cursa moarta, cât și influența acestora asupra calității lanțului cinematic este necesară pentru constructorii de mașini unelte cu comanda numerică. Una dintre sursele cursei moarte este lăgăruirea șurubului cu bile. Optimizarea alegerii tipului de lăgăruire a șurubului cu bile în scopul obținerii unor deformații

cat mai mici, în strânsă corelare cu tipul lanțului cinematic și a forțelor ce acționează, oferă proiectantului constructor informații utile. În acest fel, încă din faza de proiectare, se pot alege variantele optime de lăgăruire, cât și numărul de circuite ale piulițelor șurubului cu bile astfel încât să rezulte o cursa moarta cat mai mică. În momentul primirii comenzii de deplasare a saniei, cu o valoare foarte mică, unui component, inclusiv servomotorul de acționare, se mișcă, iar elementul final nu înregistrează deplasare; astfel, după un timp de acumulare a cursei moarte servomotorul poate da o viteză mărită pentru a cauza supraoscilația. Important este și viteza de intrare în poziție astfel încât inerția lanțului cinematic să fie mică pentru a nu depăși punctul final al poziționării.

În cazul lanțurilor cinematice de avans cu conturare, răspunsul la regimul tranzitoriu trebuie să fie cât mai rapid și totodată nu sunt acceptate oscilațiile de nici un fel. Aceasta condiție rezultă din faptul că regimul tranzitoriu îl întâlnim în timpul procesului de așchiere. Cum majoritatea mașinilor cu comanda numerică actuale sunt cu conturare, analiza lanțului cinematic de avans a acestora, sub aspectul regimului tranzitoriu, este necesară. Pe lângă operațiile de conturare aceleași lanțuri cinematice realizează și poziționări, astfel pretențiile părții mecanice a acestora privind cursa moarta sunt ridicate comparativ cu lanțurile cinematice care fac numai poziționări.

Bibliografie

1. Stan, Gh., Ghenadi, A. Metodologia de calcul privind proiectarea și reglarea mecanismelor de avans cu șuruburi cu bile plecând de la precizia impusă mașinii unelte, Al IX – lea Simpozion: Tehnologii Moderne în Construcția de Mașini, pag. 96-99, Bacau, 1993, ISBN 459-5864-26-2.
2. Stan Gh., Minimizarea erorii conturului la prelucrarea prin frezare pe mașini unelte cu comanda numerică în funcție de așezarea piesei pe masa mașinii, B.I.P. Iași, Secția Construcții de Mașini, 2000, ISBN 9975-9638-1-1.
3. Zetu D., ș.a., Robotica industrială, Editura Satya, Iași, 1997, ISBN 973-97945-3-1.
4. Zetu D., Carata, E., Sisteme flexibile de fabricație, Editura Junimea, Iași, 1998, ISBN 973-37-0384-2.