

ANALIZA STRUCTURALĂ A UNUI STRUNG CU TREI AXE CNC

RADU Alexandru Cristian

Conducător științific: Prof.dr.ing. Miron ZAPCIU

REZUMAT:

S-au analizat diferite soluții pentru strungurile cu batiu înclinat pentru a oferi o imagine de ansamblu a tehnologiei uzuale folosită în construcția celor mai noi mașini-unelte și pentru a ușura proiectarea strungurilor normale cu comandă numerică. S-au avut în vedere strungurile care permit prelucrarea pieselor cu diametre de peste 600 mm însă soluțiile sunt prezentate în termeni generali și pot fi introduse în construcția strungurilor de diferite dimensiuni.

CUVINTE CHEIE: structură, strung, comandă numerică, tehnologie, automatizări.

1 INTRODUCERE

Prin această lucrare s-a urmărit identificare soluțiilor actuale folosite pentru structurile strungurilor cu comandă numerică. Nu există o soluție universală și unic acceptată pentru construcția strungurilor iar producătorii de mașini-uneltei au adoptat diferite soluții bazate pe experiența în domeniu și în concordanță cu funcțiile pe care respectiva mașină trebuie să le îndeplinească. Analiza cu element finit, care acum este mult mai facilă mulțumită programelor specializate ce pot face simulări cu rezultate foarte apropiate de cel experimentale, ajută la dezvoltare și optimizarea continuă a elementelor de structură. Astfel diferite soluții pot da o precizie asemănătoare sau foarte apropiată a două mașini diferite din punct de vedere al întregii structuri. Tendințele actuale sunt spre simplificarea construcției mașinii-unelte iar acest lucru este posibil datorita progreselor în domeniul informatic și al electronicii.

2 STADIUL ACTUAL

S-au analizat cele mai uzuale soluții adoptate de producătorii de mașini-unelte pentru a crea o imagine de ansamblu a posibilităților de construcție a strungurilor cu comandă numerică. Au fost luate în considerare strungurile cu batiu înclinat deoarece aceste au în general o rigiditate mai bună. Strungurile sunt analizate din punct de vedere al performanțelor, soluțiilor folosite pentru lanțul cinematic principal, soluții folosite pentru lanțurile cinematice de avans, soluții pentru sistemul de prindere al sculei, soluții pentru păpușa mobilă.

3 PERFORMANȚELE STRUNGURILOR

3.1 Strungul cu comanda numerica Haas ST-45L

Strungurile Haas din seria ST-45 oferă posibilitatea prelucrării cu regimuri de așchiere dure, au rigiditate excelentă și stabilitate termica foarte bună. Pot fi echipate cu un motor electric de acționare a lanțului cinematic principal cu o putere de 29.8kW sau, opțional, de 41kW care poate lucra la o turație maximă de 1400 rpm. Are cutie de viteze cu două trepte. Poate strunji piese cu diametre până la $\Phi 648$ mm și cu lungimi de maximum 2032 mm.

Pe axa Z are o cursă se 2032 mm cu o viteză de avans de 8.1 m/min și o sarcină maximă de 40kN. Pe axa X are o cursă de 432 mm cu o viteză de avans de 18 m/min și suportă o sarcină maximă de 24.4 kN. Păpușa mobilă este comandată numeric. Mașina este echipată cu o turelă cu 12 scule cu sistem de prindere BOT (bolt-on) sau hibrid.

3.2 Strungul cu comanda numerica Knuth Ecoturn 650/1000

Strungul Knuth Ecoturn 650/1000 are stabilitate foarte bună datorită batiului înclinat iar întreaga structură a fost concepută și optimizată cu ajutorul metodei de analiză cu elemente finite. Este echipat cu un motor de 22kW pentru acționarea lanțului cinematic principal, cu turația maximă de 2000 rpm. Diametrul maxim de strunjire peste batiu este de 630 mm iar lungiea maximă a semifabricatului de 1000 mm.

Cursa pe axa Z este de 1100 mm cu o viteză de avans de 12m/min iar cursa pe axa X este de 330 mm și are viteza de avans de 8m/min. Sania este prevăzută cu o turelă cu 8 scule.

¹ Specializarea MUSP, Facultatea IMST;
E-mail: r.a.cristian.93@gmail.com;

3.3 Strungul cu comandă numerică DMG MORI NLX 4000

Strungul DMG MORI NLX 4000 este un strung de dimensiuni mari care a fost proiectat după necesitățile actuale de a prelucra piese cu caracteristici diferite în condiții de productivitate ridicată. Mașina este capabilă să funcționeze cu regimuri grele pentru degroșare mulțumită motorului de cuplu mare, dar și cu regimuri de finisare pentru a obține piese de precizie ridicată. Operațiile de strunjire și frezare combinate permit prelucrarea pieselor pentru diferite domenii din industrie. Strungul asigură o precizie ridicată prin controlul deformațiilor termice realizat prin răcire elementelor de structură.

Turația maximă a arborelui principal este de 2000 rpm, iar motorul de acționare a lanțului cinematic principal are o putere 37 kW. Diametrul maxim al semifabricatului este de 600 mm iar lungimea de 1500 mm. Cursa pe axa Z este de 1685 mm și atinge o viteză de avans de 30 m/min. Axa X are o cursă de 365 mm iar videta maximă de avans de 30 m/min.

Strungul NLX 4000 are un grad mare de automatizare mulțumită și păpușii mobile care poate fi comandată numeric și are control variabil a forței de strângere prin intermediul instrucțiunilor de program. Această dotare poate reduce timpul de pregătire cu până la 50%.

Pentru controlul dilatărilor termice DMG MORI prezintă o soluție de răcire a arborelui principal. Un canal în formă de spirală conduce lichidul de răcire (ulei) pentru a compensa dilatățile termice în mod activ ținând cont de temperatura mediului ambiant și de regimul de așchiere. Acest sistem ajută la răcirea eficientă a arborelui principal care reprezintă principala sursă de căldură.

Răcirea sculei se face cu ajutorul unui sistem de racire cu aer și ceață de ulei.

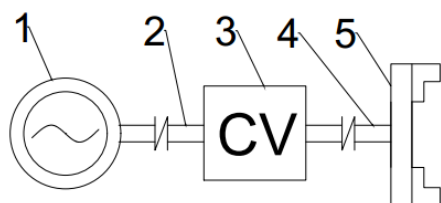


Fig. 1 Lanț cinematic principal. 1 – motor de acționare; 2, 4 – cuplaj; 3 – cutie de viteze;

5 – arbore principal/universal.

4 LANȚUL CINEMATIC PRINCIPAL

În ansamblul unui strung lanțul cinematic principal conform soluțiilor actuale se materializează prin motor electric de acționare, transmisie, reductor/cutie de viteze și arbore principal care transmite mișcarea principală la semifabricat. Lanțul cinematic principal trebuie să asigure o viteză de așchiere optimă pentru o prelucrare continuă și fără șocuri.

Lanțul cinematic principal trebuie să asigure o gamă largă de turații pentru a permite prelucrarea pieselor de diferite diametre în condiții de precizie impuse. Precizia pieselor obținute este influențată și erorile însumate de lanțul cinematic începând de la motorul de acționare până la arborele principal. Datorită acestei necesități la strunguri există diferite soluții care oferă precizii diferite în funcție de piesele ce se doresc a fi prelucrate pe mașina respectivă.

Printre soluțiile actuale de construire a lanțurilor cinematice principale se numără și varianta cu motor de acționare și cutie de viteze cu mecanism planetar. Momentul poate fi transmis de la reductor direct la arborele principal prin intermediul unui cuplaj (Fig. 1) sau poate exista o transmisie cu curele între aceste două elemente (Fig. 2). Avantajul transmisiei cu curele este că elimină transferul vibrațiilor și a căldurii spre arborele principal generate de motor și de cutia de viteze.

Cele mai noi soluții de strunguri folosesc arbori principali integrați (Fig. 3) în care sunt eliminate toate elementele intermediare dintre motorul de acționare și arborele principal, simplificând extraordinar de mult construcția mașinilor-unelte și reducând vibrațiile generate de motor, cutie de viteze și transmisii.

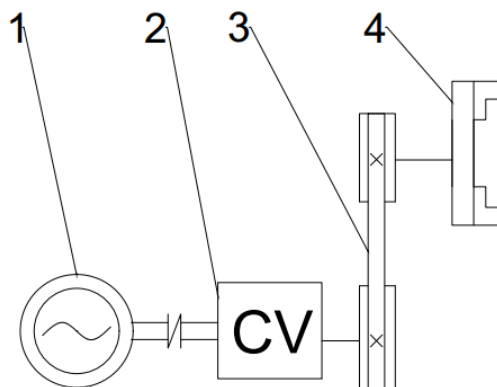


Fig. 2 Lanț cinematic principal. 1 – motor de acționare; 2 – cutie de viteze; 3 – transmisie cu curele; 4 – arbore principal/universal.

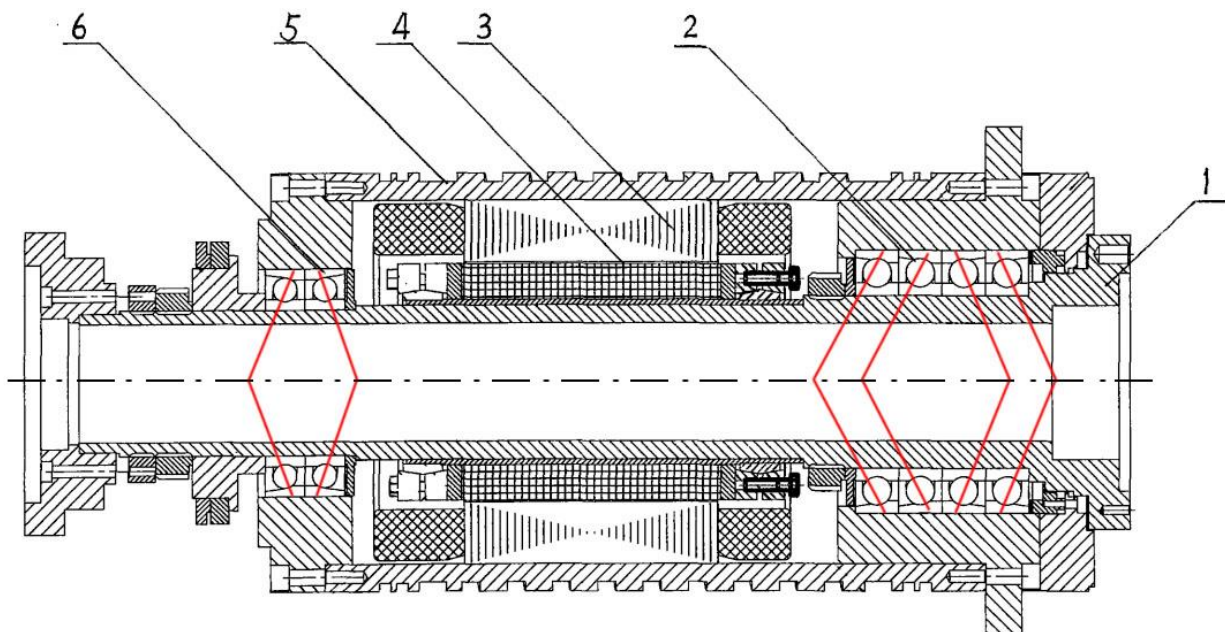


Fig. 3 Arbore principal integrat pentru strung normal. 1 – arbore; 2 – lăgărire cu rulmenți radial-axiali cu bile, monaj în “O”; 3 – stator; 4 – rotor; 5 – carcasă cu canal elicoidal pentru răcire; 6 – lăgărire cu rulmenți radial-axiali, montaj în “O”.

Tabelul 1 Analiză comparativă între tipurile de arbori principali

Arbore cu transmisie prin curea	Arbore cu transmisi directă	Arbore integrat
<p>Motor, Cutie de viteze, Transmisie cu curea, Arbore principal</p>	<p>Motor, Cuplaj, Arbore principal</p>	<p>Motor integrat, Arbore principal</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Cost redus • Turații mai mici 	<ul style="list-style-type: none"> • Întreținere ușoară • Fără vibrații introduse de transmisie • Turații mai mari 	<ul style="list-style-type: none"> • Răspuns dinamic foarte bun datorită momentului de inerție mai mic • Ocupă mai puțin spațiu • Instalare rapidă • Precizie foarte ridicată • Turații foarte mari

Cutie de viteze cu mecanism planetar (Fig. 4) are în general 2-3 trepte de viteze care asigură un cuplu ridicat la turații mari. În acest caz momentul este transmis direct de la motorul electric (1) către cutia de viteze (2); arborele motorului antrenează roata dințată (3).

Dacă baladorul (4) este cuplat în treapta I prin orificiile (a), mișcarea este transmisă la sateliți (6) și mai departe la arborele de ieșire (7)

iar roata dințată cu dantură interioară (9) este blocată. În această trapt se asigură un raport de transfer de 1:4.

Dacă baladorul (4) este cuplat în treapta II prin orificiile (b), mișcarea este transmisă la roata dințată (9) și la sateliți (6) iar apoi mai departe la arborele de ieșire (7). În treapta a doua raportul de transfer este de 1:1.

Astfel de cutii de viteze sunt complet automatizate având acționare hidraulică sau electro-magnetică pentru schimbare treptelor de

viteză în funcție de gabarit. Aceste cutii sunt foarte răspândite și înlocuiesc cutiile de viteze clasice cu mai multe trepte de viteze.

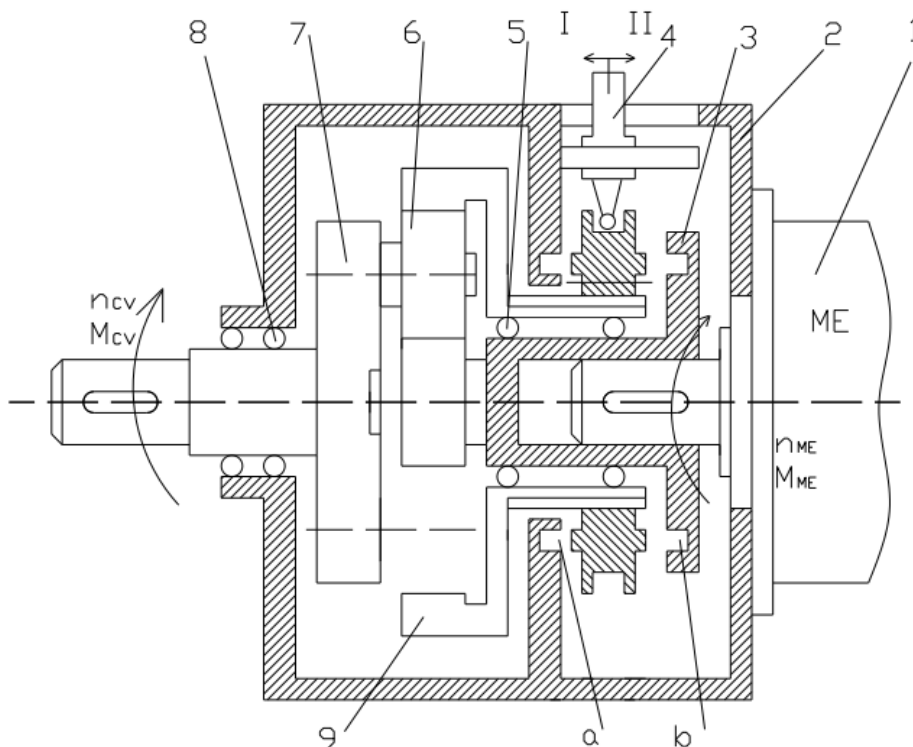


Fig. 4 Schema cinematică a cutiei de viteze cu două trepte

În Fig. 5 este prezentat un exemplu de arbore principal la care transmisia mișcării se face prin intermediul unei transmisii cu curea. Pe tronsonul cel mai din stânga se montează o fulie care asigură transmiterea mișcării de la motor la arborele principal. Folosirea acestei soluții scade prețul mașinii datorită costurilor de fabricație mai mici însă are dezavantajul că nu poate atinge turații la fel de mari ca arborii integrați (**Error! Reference source not found.**) care sunt necesare pentru

obținerea unor piese complexe de precizie ridicată sau pentru atingerea unei productivități mai bune.

Această transmisie are avantajul protecției la suprasarcini iar costul înlocuirii curelelor este foarte mic. Comparativ cu celelalte două soluții (**Error! Reference source not found.**) transmisia prin curele are dimensiuni de gabarit mai mari. Din cauza forței de pretensionare necesară întinderii curelelor apar solicitări în arbore și în lăgăruiri care dăunează procesului de așchiere.

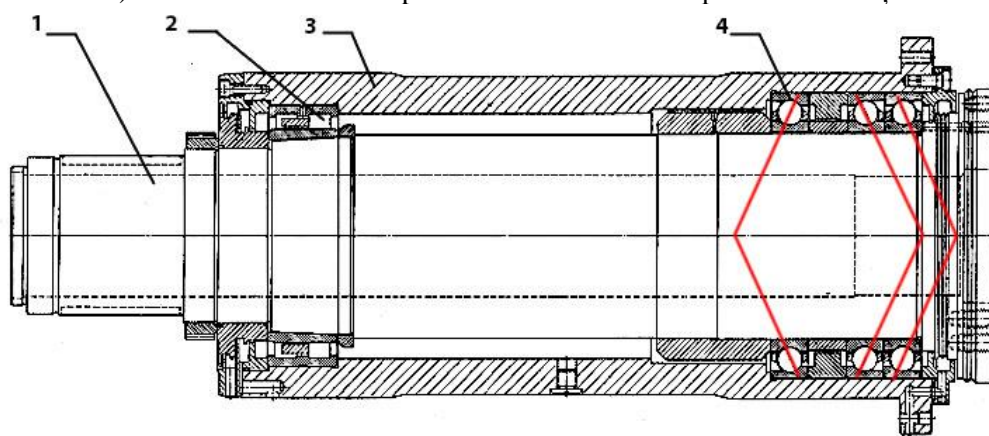


Fig. 5 Arbore principal SKF cu transmisie prin curea. 1 – arbore; 2 – rulment radial cu role cilindrice pe două rânduri; 3 – carcasă; 4 – lăgăruire cu rulmenți radial-axiali cu bile, montaj în “O”.

5 LANŢURILE CINEMATICE DE AVANS

Față de mașinile clasice la mașinile cu comandă numerică lanțurile cinematice de avans sunt mult simplificate mulțumită avantajului adus de dezvoltarea industriei electronice. Astfel au putut fi eliminate cutiile de avans și filete iar lanțurile de avans sunt independente din punct de vedere fizic față de lanțul cinematic principal ele având motoare de acționare separate. Corelarea mișcărilor prin intermediul interpolării asigurată pe cale electronică.

Distribuția temperaturii de-a lungul șurubului din mecanismul de transformare a mișcării de rotație în mișcare de translație șurub-piuliță cu bile poate fi schimbată foarte rapid datorită vitezei de avans și forțelor de așchiere. Pe mașinile-unelte cu buclă semi-închisă (fără traductoare liniare) rezultă o variație de lungime de 100 μm/m într-un interval de 20 de minute. Dilatările șurubului pot provoca defecte semnificative în piesele prelucrate.

Precizia de poziționare la mașinile-unelte cu comandă numerică se realizează prin crearea unei

bucle închise (Fig. 6 **Error! Reference source not found.**) între elementul de comandă și elementul de acționare. Astfel prin introducerea unui traductor (TR) și a unui bloc comparator (C_p) se poate completa bucla închisă obținându-se un control continuu al poziției rezultând o precizie ridicată a pieselor prelucrate, care nu poate fi realizată pe mașinile-unelte clasice.

La operațiile de conturare este caracteristic faptul că diferitele deplasări după axele mașinii se execută simultan, între ele existând o dependență funcțională. De aceea este necesar și un bloc interpolator (I) cu ajutorul căruia echipamentul poate coordona mișcările pe două axe pentru a efectua interpolarea liniară sau circulară.

La strunguri interpolarea liniară permite generarea suprafețelor conice iar interpolarea circulară permite generarea suprafețelor sferice.

Închiderea buclilor de poziție și de reglare a vitezelor de avans (și a vitezei principale de rotație pentru realizarea funcției de optimizare a regimului de așchiere ce însoțește conturarea) implică răspunsul mașinii în timp real.

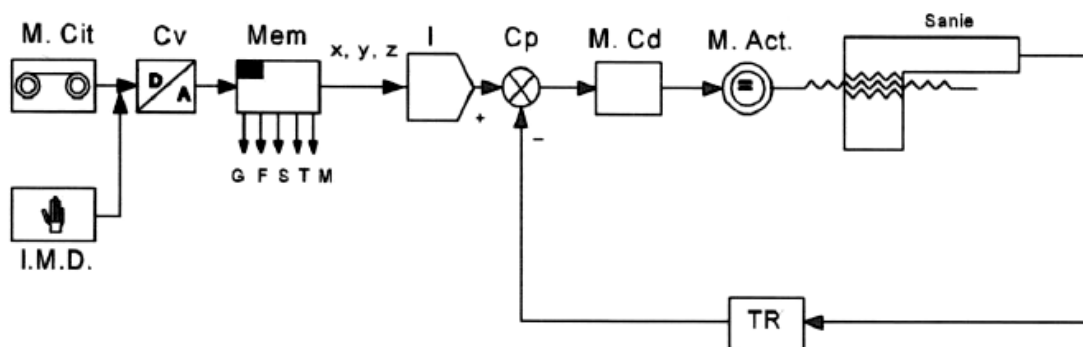


Fig. 6 Schema bloc a unui lanț cinematic de avans. M_{cit} – modul citire program; I.M.D. – introducere manuală a datelor; C_v – convertor digital-analog; Mem – memorie; I – interpolator; C_p – bloc comparator; M_{Cd} – mecanism de comandă; M_{Act} – mecanism de acționare; TR – traductor de poziție.

Pentru o productivitate mai mare unii producători folosesc o soluție de strunjire în 4 axe (Fig. 7) unde prelucrarea se face simultan cu două cuțite pentru același profil. Strunjirea în 4 axe se mai numește și așchiere echilibrată. Pe lângă productivitatea ridicată această soluție echilibrează forțele de așchiere ajutând la prelucrarea pieselor cu lungimi mari micșorând sau chiar eliminând deformarea piesei și bătaia radială.

Volumul dublu de așchii în unitatea de timp poate fi obținut fie prin mărirea avansului fie prin strategii diferite ale traiectoriilor cuțitelor.

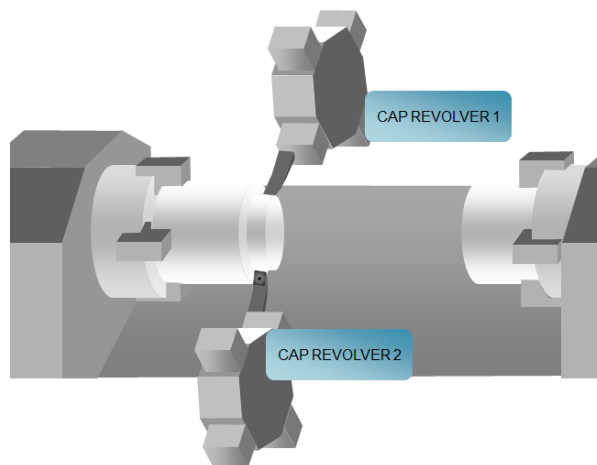


Fig. 7 Strunjire în 4 axe cu SINUMERIK 828D și 840D

5.1 Evoluția ghidajelor

De-a lungul timpului în construcția ghidajelor s-a urmărit micșorarea frecării și facilitarea operațiilor de întreținere și reparație/înlocuire. Vom prezenta o clasificare a tipurilor de ghidaje cunoscute:

- ghidaje de alunecare:
 - ghidaje dintr-o bucată (fac corp comun cu batiul sau cu elementul mobil);
 - ghidaje aplicate (pe batiu și/sau pe elementul mobil; din oțel sau fontă);
 - ghidaje din materiale plastice/compozite;
- ghidaje cu elemente intermediare (de rostogolire).

Ghidajele de alunecare pot avea diferite profile (Fig. 8) care se aleg în funcție de tipul încărcărilor la care mașina va fi supusă. Această tehnologie se mai întâlnește la mașinile-unelte mai vechi sau la unele mașini-unelte speciale și cu gabarit mare unde soluțiile noi nu pot fi implementate.

Pentru confecționarea ghidajelor este nevoie de materiale de calitate de aceea ghidajele dintr-o bucată au fost înlocuite de ghidajele aplicate. Acestea mai oferă și avantajul că prelucrarea lor este mult mai ușor de realizat. Astfel ghidajele aplicate au o duritate mai mare și în același timp o durată de viață mai mare, ele pot fi ușor înlocuite.

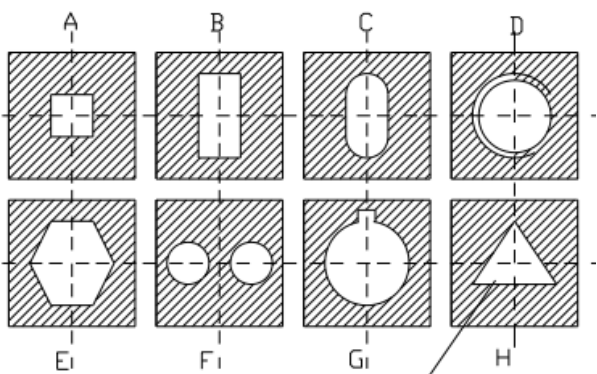


Fig. 8 Profile pentru ghidaje de alunecare

O soluție mai nouă și îmbunătățită a ghidajelor de alunecare o reprezintă ghidajele din materiale plastice/compozite (Fig. 9).

Ghidajele din materiale plastice/compozite au un coeficient de frecare mai mic și asigură o deplasare uniformă, nesacadată, a elementului mobil mai ales în cazul vitezelor de avans mici și foarte mici. Acestea se prelucrează mult mai ușor decât ghidajele din materiale metalice și au timp de metenanță mai scurt.

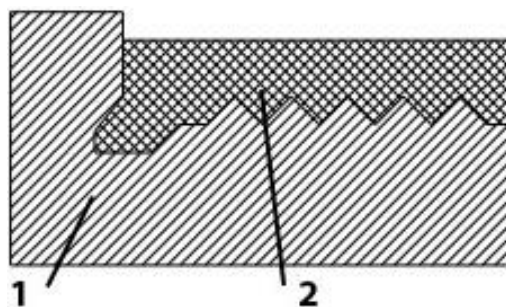


Fig. 9 Ghidaj compozit. 1 – batiu turnat și prelucrat; 2 – material compozit

Cele mai noi mașini-unelte folosesc ghidaje cu elemente intermediare (Fig. 10) datorită avantajelor pe care acestea le aduc în comparație cu ghidajele de alunecare. Au randamentul cel mai mare mulțumită elementelor intermediare care înlocuiesc frecarea de alunecare cu frecare de rostogolire. Se montează și se înlocuiesc relativ ușor și au un gradul mare de interschimbabilitate. Acestea se comandă de la diferiți producători după ce s-au ales din cataloagele respective urmând pașii indicați și efectuând calculele necesare.

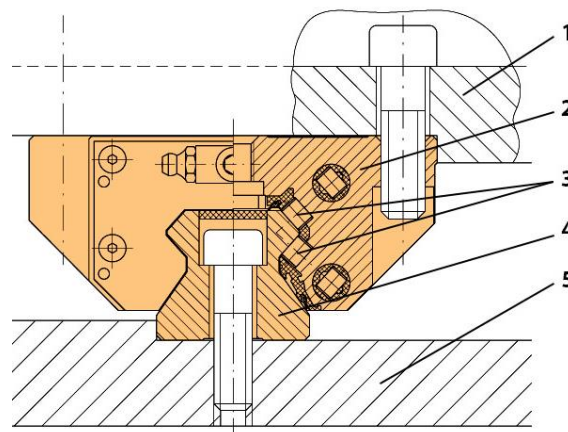


Fig. 10 Ghidaj cu elemente intermediare. 1 – element mobil (sanie); 2 – patină (tanchet); 3 – elemente intermediare (role); 4 – șină (ghidaj liniar); 5 – batiu.

5.2 Transmiterea mișcării

Pentru realizarea mișcărilor de translație a săniilor și a păpușii strungului se folosesc mecanisme de transformare a mișcării șurub-piuliță cu bile sau pinion-cremalieră (Fig. 13). Mecanismul șurub-piuliță cu bile are un randament mult mai mare decât mecanismul clasic șurub-piuliță datorită elementelor intermediare ca transformă frecare de alunecare în frecare de rostogolire.

Un mecanism șurub-piuliță cu bile (Fig. 11) este constituit cel puțin din următoarele componente: șurub conducător (5), piuliță (1), elemente intermediare (4), canal de recirculare a bilelor (2).

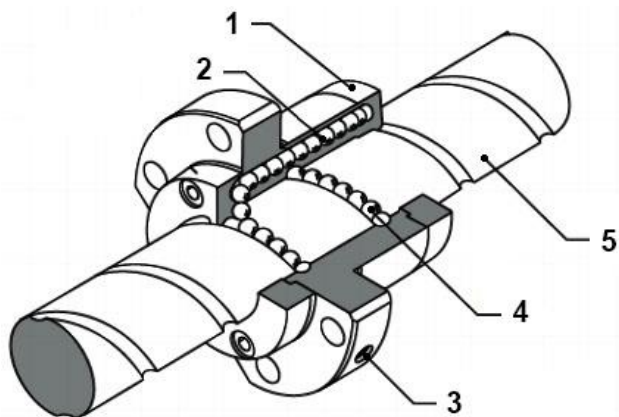


Fig. 11 Șurub-piuliță cu bile. 1 – piuliță; 2 – canal de recirculare; 3 – orificiu lubrifiere; 4 – elemente intermediare (bile); 5 – șurub conducător.

Pentru preluare eficientă a jocurilor au fost dezvoltate piulițele duble (Fig. 12) care elimină jocul de întoarcere mărind considerabil precizia de re poziționare. Două piulițe montate cap la cap și separate de un distanțier care introduce o forță de prestrângere care împinge piulițele în direcții opuse astfel realizându-se preluare jocului de întoarcere.

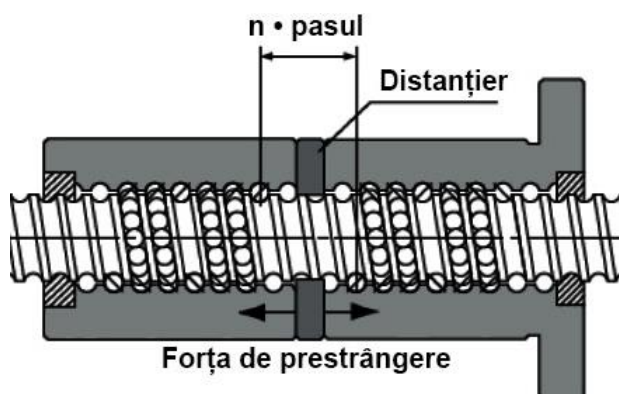


Fig. 12 Piuliță cu preluarea jocului în ambele sensuri. n – un număr de pași cuprins între 3 și 4.

În cazul transmisiei șurub-piuliță cu bile transmiterea mișcării de la motorul de acționare la șurub se poate face prin trei metode:

- prin intermediu unui cuplaj (Fig. 14). Este mai ușor de realizat însă nu permite mărirea cuplului printr-un raport de transfer;
- cu transmisie prin curea (Fig. 15). Permite realizarea unor cupluri mai mari decât cel al motorului dar care este limitat de rezistența curelei;
- angrenaj cu roți dințate conice (Fig. 16). Realizează cuplurile cele mai mari însă este mai costisitoare și necesită instalație de ungere permanentă.

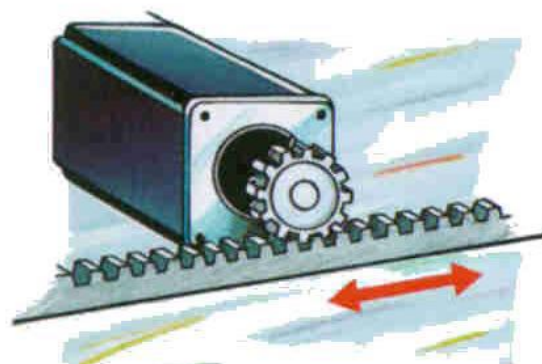


Fig. 13 Mecanism pinion-cremalieră

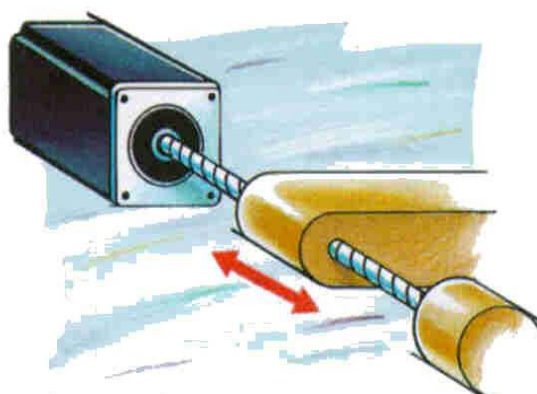


Fig. 14 Șurub piuliță cu transmiterea mișcării printr-un cuplaj

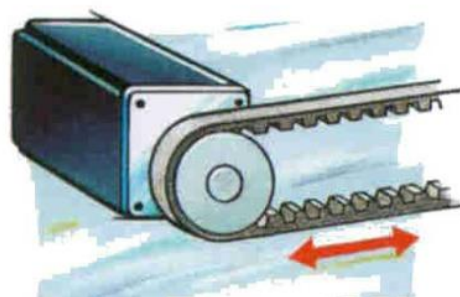


Fig. 15 Surub-piuliță cu transmisie prin curea

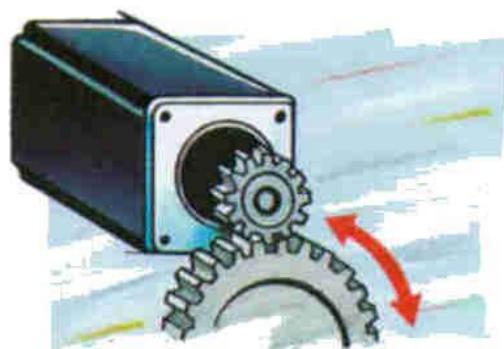


Fig. 16 Șurub-piuliță cu transmiterea mișcării prin angrenaj cu roți dințate cilindrice

6 CONCLUZII

Din analiza efectuată se poate observa că există o tendință spre simplificarea structurii mașinilor-unelte. Scurtarea lanțurilor cinematice duc la mărirea preciziei iar progresul în domeniul electronicii permite scăderea timpului de răspuns al buclelor închise din lanțul cinematic.

Din specificațiile strungurile normale cu comandă numerică și batiu înclinat analizate se pot trage câteva concluzii cu privire la lanțurile cinematice, și anume:

- pentru axa Z, viteze de avans cuprinse între 8 și 12 m/min;
- pentru axa X, viteze de avans cuprinse între 8 și 30 m/min;
- turația maximă a arborelui principal cuprinsă între 1400 și 2000 rpm;

La majoritatea strungurilor de dimensiuni mici și medii ghidajele sunt aplicate și cu elemente intermediare iar uneori pentru păpușă mobilă aceste sunt frezate direct pe batiul strungului.

Pe viitor se vor avea în vedere și tehnologiile de ultimă generație și tehnologiile care se găsesc în situații speciale.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. HAAS CNC Lathes, disponibil la: <https://www.haascnc.com>. Accesat la data: 25.03.2016.
- [2]. KNUTH Machine Tools, disponibil la: <http://www.knuth.com>. Accesat la data: 10.04.2016.
- [3]. DMG MORI, disponibil la: <http://us.dmgmori.com>. Accesat la data: 30.04.2016.
- [4]. Miron Zapciu, *Curs Drives Technology*, 21.03.2016.
- [5]. Miron Zapciu, *Curs Concepție integrată mașini-unelte*.
- [6]. Dan Prodan, *Curs construcția mașinilor-unelte*.
- [7]. Adrian Nicolescu, *Curs componente mecanice tipizate*.