



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA**

FACULTATEA CONSTRUCȚII DE MAȘINI

Ing. Bogdan BUCUR

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND GEOMETRIA ȘI TEHNOLOGIA DE DANTURARE A
ANGRENAJELOR MELCATE FRONTALE CU CONICITATE INVERSĂ**

**RESEARCH CONCERNING THE GEOMETRY AND TECHNOLOGY OF
TOOTHING THE WORM FACE-GEAR WITH REVERSE TAPERED PINION**

-SUMMARY OF THE THESIS-

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof.dr.ing. Vasile BOLOȘ

2012

Susținerea publică a tezei de doctorat cu titlul: *“Cercetări privind geometria și tehnologia de danturare a angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă”*, va avea loc în data de vineri 4 mai 2012, ora 9⁰⁰, în Aula Domșa a Universității Tehnice din Cluj-Napoca, str. C-tin Daicoviciu, nr. 15.

Comisia pentru susținerea tezei de doctorat este alcătuită din:

Președinte: Prof.dr.ing. **Petru BERCE**- Decan, Facultatea Construcții de Mașini, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;

Membrii: Prof.dr.ing. **Vasile BOLOȘ** - Conducător științific, Universitatea „Petru Maior” din Tîrgu-Mureș;

Prof.dr.ing. **Tudor ICLĂNZAN** - Referent, Universitatea “Politehnica” din Timișoara;

Prof.dr.ing. **Gheorghe MOLDOVEAN** - Referent, Universitatea “Transilvania” din Brașov;

Prof.dr.ing. **Csaba GYENGE** - Referent, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

Prefață

Terminologie. Siteme de notații.

Introducere

Capitolul I. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL ANGRENAJELOR MELCATE FRONTALE

- 1.1 Elemente privind evoluția și dezvoltarea studiilor legate de angrenajele melcate frontale..... pag. 11
- 1.2 Aspecte generale privind geometria angrenajelor melcate frontale..... pag. 17
 - 1.2.1 Caracteristicile danturii melcate frontale cu melc cilindric..... pag. 17
 - 1.2.2 Caracteristicile danturii melcate frontale cu melc conic..... pag. 20
 - 1.2.3 Caracteristicile danturii melcate frontale cu melc cu conicitate inversă... pag. 25
- 1.3 Considerații privind tehnologia de execuție a diferitelor angrenaje melcate frontale..... pag. 29
 - 1.3.1 Prelucrarea danturii roților melcate frontale pag. 29
 - 1.3.2 Tehnologia de prelucrare a melcilor..... pag. 31
 - 1.3.3 Controlul angrenajelor frontale pag. 33
- 1.4 Aplicații privind utilizarea angrenajelor melcate frontale pag. 34
- 1.5 Concluzii și obiective pag. 38

Capitolul II. CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND DEFINIREA GEOMETRIEI ȘI A CINEMATII DE PRELUCRARE A DANTURII ANGRENAJELOR MELCATE FRONTALE CU CONICITATE INVERSĂ

- 2.1 Elemente generale..... pag. 40
 - 2.1.1 Geometria suprafețelor de rostogolire pag. 40
 - 2.1.2 Calculul curbei de contact pag. 46
 - 2.1.3 Calculul numeric al suprafeței conice de cea mai bună aproximare..... pag. 46
- 2.2 Definirea geometrică matricial-vectorial, a melcului generator cu conicitate inversă..... pag. 48
- 2.3 Definirea geometrică matricial-vectorial, a roții melcate frontale cu conicitate inversă..... pag. 52
- 2.4 Modelarea și simularea 3D a angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă... pag. 60
- 2.5 Parametrii geometrice ai angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă pag. 63
- 2.6 Concluzii și contribuții..... pag. 69

Capitolul III. CERCETĂRI EXPERIMENTALE LEGATE DE TEHNOLOGIA DE DANTURARE A ANGRENAJELOR MELCATE FRONTALE CU CONICITATE INVERSĂ

- 3.1 Cercetări experimentale privind prelucrarea melcilor conici pag. 70
 - 3.1.1 Elemente generale pag. 70
 - 3.1.2 Prelucrarea melcului conic pag. 74
 - 3.1.3 Tratamentul termic și verificarea durtității melcului conic..... pag. 74
- 3.2 Cercetări experimentale cu privire la proiectarea și tehnologia de execuție a frezei melc cu conicitate inversă pag. 76
 - 3.2.1 Geometria frezei-melc cu conicitate inversă..... pag. 76
 - 3.2.2 Tehnologia de prelucrare a frezei-melc cu conicitate inversă..... pag. 78
- 3.3 Cercetări experimentale privind cinematica prelucrării danturilor roților melcate frontale cu conicitate inversă pag. 83
 - 3.3.1 Elemente generale pag. 83

3.3.2 Tehnologia de danturare a roților melcate frontale cu conicitate inversă..	pag. 84
3.4 Controlul angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă.....	pag. 90
3.5. Concluzii și contribuții.....	pag. 92
Capitolul IV. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND FUNCȚIONAREA ANGRENAJELOR MELCATE FRONTALE CU CONICITATE INVERSĂ	
4.1 Construcția standului pentru încercarea reductoarelor cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă.....	pag. 94
4.1.1 Elemente generale	pag. 94
4.1.2 Construcția reductorului	pag. 95
4.1.3 Construcția și funcționarea standului	pag. 98
4.1.4 Standul experimental, aparatura de achiziție și măsurare, vizualizare parametrii.....	pag. 100
4.1.5 Construcția echipamentului de achiziție de date	pag. 104
4.1.6 Program interfață grafică.....	pag. 105
4.1.7 Metodica de experimentare și achiziția datelor	pag. 107
4.2 Studiul experimental privind determinarea limitei termice pentru un reductor cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă.....	pag. 109
4.2.1 Evaluarea datelor experimentale	pag. 113
4.3 Studiul experimental privind nivelul de zgomot și vibrații la reductoarele echipate cu angrenaje melcate frontale cu conicitate inversă.....	pag. 114
4.3.1 Evaluarea datelor experimentale	pag. 115
4.4 Concluzii și contribuții	pag. 120
Capitolul V. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE	pag. 122
Bibliografie.....	pag. 128
Anexa 1	pag. 134
Anexa 2	pag. 149
Anexa 3	pag. 150
Articole proprii publicate	
CV	

Prefață

Construcția de mașini este o ramură a industriei aflată în continuă transformare și dezvoltare datorită introducerii în permanență a noilor tehnologii de fabricație a pieselor componente aparținând mașinilor și aparatelor. O categorie aparte de piese o constituie elementele componente ale diverselor tipuri de angrenaje. Exigențele constructive și tehnologice față de această categorie de piese, impune competențe teoretice și practice deosebite ale celor care profesază în acest domeniu.

Astfel, lucrarea de față, prin tematica abordată, prezintă o tratare sistematică a problemelor caracteristice proiectării, execuției și exploatării angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă. Necesitatea studiului acestor angrenaje se consideră de actualitate, întrucât fabricația unor reductoare cu angrenaje melcate conice cu conicitate inversă, presupune rezolvarea unor aspecte constructive și tehnologice particulare. În studiile realizate am fost avantajat de existența unor preocupări cu tradiție de peste 30 de ani la Universitatea “Petru Maior” din Tîrgu-Mureș, sub îndrumarea științifică a d-lui profesor dr. ing. Vasile Boloș, unde de altfel s-a

materializat întreaga temă de cercetare, precum și în cadrul Uzinei Mecanice Cugir, de al cărui sprijin m-am bucurat în cadrul elaborării acestei cercetări. Geometria angrenajelor frontale cu conicitate inversă este mai puțin studiată, motiv pentru care referințele în literatură sunt puține. Astfel se explică necesitatea modelării matematice a componentelor angrenajului și a sculelor pentru prelucrare, precum și tehnologia generării angrenajului, respectiv experimentarea acestor angrenaje prin intermediul unor construcții de destinație practică. Prezenta lucrare este rezultatul unei activități de cercetare, documentare și explorare desfășurată pe parcursul mai multor ani.

Folosesc acest prilej pentru a-mi exprima cele mai calde sentimente de mulțumire adresate conducătorului științific, d-lui profesor universitar dr. ing. Vasile Boloș, promotor al familiei de angrenaje melcate frontale la noi în țară, care cu multă competență științifică și pedagogică, m-a îndrumat și sprijinit la realizarea prezentei teze de doctorat.

Adresez sincere mulțumiri colectivului Departamentului Ingineria Fabricației (TCM) din cadrul Universității Tehnice Cluj-Napoca, și în special d-lui profesor universitar acad. dr. ing. Csaba Gyenge, care m-a sprijinit cu multe observații și sugestii științifice valoroase.

Se cuvine să adresez de asemenea mulțumiri d-nei profesor dr. ing. Codruța Boloș de la Universitatea „Petru Maior” din Tîrgu-Mureș, pentru sprijinul moral și material acordat de-a lungul întregii perioade de desfășurare a stagiului de doctorat.

Mulțumiri respectuase și colegiale se cuvin d-lui conf. dr. ing. Márton Máté, de la Universitatea „Sapientia” din Tîrgu-Mureș, pentru sugestiile științifice și observațiile constructive făcute cu privire la definirea modelelor matematice dezvoltate în cadrul tezei.

Pentru sprijinul acordat la realizarea de măsurători și determinări specifice angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă, adresez colectivului de la Uzina Mecanică Cugir, în mod special d-lui Dr. ing. Mihai Sudrijan, calde mulțumiri. Rămân recunoscător pentru ajutorul acordat în operațiile de tratamente termice pe care a trebuit să le efectuez, d-lui ing. Mihai Dumitrache de la Fabrica de Scule Rîșnov, respectiv d-lui ing. Nicușor Ruscu de la Intreprinderea Carfil, Brașov.

Mulțumesc conducerii Universității “Petru Maior” din Tîrgu-Mureș, Facultății de Inginerie, precum și colegilor cadrelor didactice din Departamentul de Inginerie Industrială și Management, precum și Departamentul de Inginerie Electrică, pentru sprijinul acordat. Adresez mulțumiri d-lui ing. Titus Jovrea, pentru sprijinul acordat în realizarea modulului de achiziție de date.

În final doresc să adresez sincere și emoționante mulțumiri familiei pentru sprijinul, răbdarea și dragostea cu, care m-au înconjurat: părinților Aurelia și Constantin, fratelui meu Constantin, soției mele Andreea, și nu în ultimul rând, fiului meu Dumitru-Sabin. Această teză le este dedicată.

Tîrgu-Mureș,
7 februarie 2012

ing. Bogdan Bucur

Introducere

Prezenta teză de doctorat, prin tematica abordată, se înscrie în domeniul preocupărilor și studierii diferitelor aspecte legate de construcția și tehnologia cu privire la angrenajele melcate frontale.

Lucrarea este structurată pe 5 capitole desfășurate pe 155 de pagini, având 72 de relații matematice de calcul, 138 de figuri, 23 tabele, 182 de referințe bibliografice și 3 anexe.

Capitolul I, “Stadiul actual al cercetărilor în domeniul angrenajelor melcate frontale”, prezintă pe baza referințelor bibliografice consultate, tendințele actuale ale cercetărilor cu privire la angrenajele melcate frontale, respectiv tehnologia de danturare și caracteristicile acestor angrenaje frontale.

Capitolul II, “Contribuții teoretice privind definirea geometriei și a cinematicii de prelucrare a danturii angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă”, conține o metodă de calcul matricial-vectorial al acestui tip de angrenaj, care asigură calcularea coordonatelor punctelor fiecărui punct de pe suprafețele celor două flancuri conjugate: a melcului conic, respectiv a roții melcate frontale cu conicitate inversă și apoi reprezentarea lor grafică.

Capitolul III, “Cercetări experimentale legate de tehnologia de danturare a angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă”, dezvoltă tehnologia de prelucrare a melcilor conici, specifici angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă, tehnologia de prelucrare a frezelor-melc cu conicitate inversă, tehnologia de danturare a roților melcate frontale precum și controlul angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă.

Capitolul IV, “Cercetări experimentale privind funcționarea angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă”, conține rezultatele verificării experimentale a modului de comportare la funcționarea în sarcină a acestui tip de angrenaj. Pentru acest lucru s-a proiectat și realizat un reductor melcat, echipat cu trei combinații de angrenaje melcate frontale având diferite cupluri de materiale, respectiv: melc conic, realizat din oțel aliat nitrurat, roata melcată frontală danturată din poliamidă, fontă și bronz. Pentru testarea și studierea experimentală a acestor angrenaje s-a proiectat și executat un stand pentru încercarea reductoarelor cu angrenaje frontale, precum și proiectarea unui program de salvare date achiziționate și vizualizarea lor grafică.

Capitolul V, “Concluzii generale, contribuții și perspective”, sintetizează pe baza studiilor elaborate și experimentărilor exploratorii efectuate, cele mai semnificative rezultate și contribuții originale ale lucrării, modul lor de valorificare, precum și perspectivele de cercetare ulterioară.

Bibliografia, prezintă un număr de 182 de referințe bibliografice și site-uri utilizate în cercetarea efectuată pentru elaborarea și finalizarea tezei. În cadrul acesteia se evidențiază prezența unui număr de 16 lucrări științifice proprii publicate la diferite conferințe științifice naționale și internaționale.

De asemenea lucrarea conține un număr de trei anexe după cum urmează:

Anexa 1

- Program de calcul și reprezentare grafică a suprafețelor reciproc înfășurătoare de rostogolire pentru un angrenaj frontal cu conicitate inversă;
- Program de calcul pentru generarea punctelor care definesc suprafețele înfășurătoare ale flancurilor elicoidale conice care definesc melcul conic;
- Program de calcul și verificarea relațiilor de calcul pentru generarea suprafețelor reciproc înfășurătoare a flancurilor dinților roții melcate frontale cu conicitate inversă, conjugate melcului conic;
- Program pentru reprezentarea suprafețelor conjugate;

Anexa 2

- Program pentru asamblarea de liste de puncte generate, aparținând suprafețelor conjugate și realizarea modelelor virtuale a melcului conic, respectiv a roții melcate cu conicitate inversă.

Anexa 3

- Desenul de execuție a melcului conic specific angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă;
- Desenul de execuție al frezei-melc cu conicitate inversă;
- Desenul de execuție al roții melcate cu conicitate inversă;
- Desenul de ansamblu al reductorului melcat cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă;
- Desenul de ansamblu al standului pentru încercarea reductoarelor.

Capitolul I

Stadiul actual al cercetărilor în domeniul angrenajelor melcate frontale

În anul 1966 A.K. Georgiev a brevetat acest tip de angrenaj ortogonal melc-roată melcată conică [56], care ulterior a preluat denumirea de angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă.

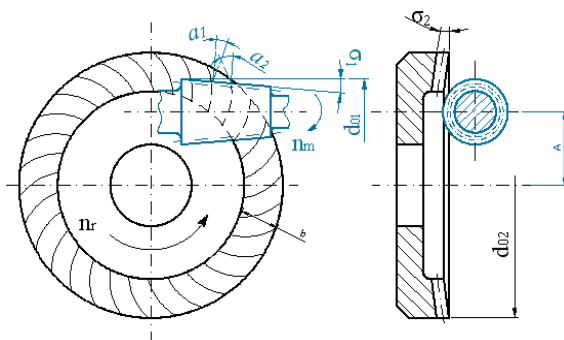


Fig.1. Elementele definitorii ale angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă [27]

Acest tip de angrenaj este cvasiidententic cu angrenajul melcat conic, figura 1, având următoarele caracterisitci: este format dintr-un melc-pinion conic cu

unghiurile flancurilor de presiune diferite, înălțimea flancului elicoidal a melcului fiind constantă, de-a lungul generatoarei conului și care angrenează cu roata conică conjugată pe o suprafață conică interioară, având înălțimea dinților constantă. Angrenajul melcat frontal cu conicitate inversă face parte din familia de angrenaje melcate frontale, și este varianta cea mai puțin răspândită, deși are avantajul unei portanțe foarte bune.

Lucrările [56,61,131] sunt singurele referiri bibliografice care atestă faptul că sunt preocupări în studierea acestor angrenaje frontale cu conicitate inversă.

Studiul bibliografic efectuat a evidențiat faptul că odată cu brevetarea angrenajelor melcate frontale cilindrice și conice, de către Oliver Saari, din anul 1954 și până în prezent, acestea au constituit subiect de cercetare din multe puncte de vedere pentru un număr însemnat de cercetători din mai multe țări. Cu toate acestea gradul de răspândire al utilizării acestor angrenaje este cu mult sub nivelul angrenajelor melcate cilindrice, deși avantajele angrenajului melcat frontal sunt bine stabilite.

Cercetările teoretice și numerice privitoare la angrenajele melcate frontale efectuate în România au ca punct de plecare două lucrări de importanță științifică deosebită și anume tezele de doctorat elaborate de: Iosif Bocian [7], care tratează problemele cu privire la geometria angrenajelor globoidale (1976), respectiv Csaba Gyenge [80], care a analizat și realizat îmbunătățirea preciziei frezelor-melc pentru executarea angrenajului melcat duplex (1979). Ambele lucrări fiind realizate în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca. De asemenea sunt de remarcat tezele din domeniul angrenajelor melcate frontale realizate în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, respectiv: V.Boloș [11], C.Boloș [8], I.Napău [111], D.Napău [112], E.Munteanu [108].

Angrenajele melcate frontale cu conicitate inversă, brevetate de către A.K. Georgiev, în anul 1966, nu au cunoscut o dezvoltare până în prezent, decât într-o mică măsură. Argumentarea acestei stări de fapt constă în următoarele:

- lipsa standardelor care să asigure condițiile tehnice privitoare la: terminologie, geometrie, metode de calcul geometric și de portanță, precizia de execuție, etc;
- lipsa datelor cu privire la tehnologiile de fabricație a melcilor și a roților melcate frontale cu conicitate inversă, precum și a datelor de proiectare concrete legate de acestea;
- lipsa informațiilor privind comportarea în exploatare a acestor angrenaje, în diverse combinații de materiale și lubrifieri în exploatare.

Considerentele exprimate mai sus fundamentează necesitatea unei cercetări complexe, cu caracter teoretic, numeric, tehnologic și experimentale privind familia de angrenaje melcate frontale cu conicitate inversă.

Obiectivele principale ale acestei cercetări ar fi următoarele:

- Analiza geometrico-cinematică a suprafețelor de rostogolire;
- Definirea modelului matricial-vectorial al suprafețelor flancurilor melcului conic de referință;

- Definirea modelului matricial-vectorial al suprafețelor flancurilor conjugate ale dinților roții melcate cu conicitate inversă;
- Stabilirea relației vitezei relative, precum și calculul normalei la suprafața de contact;
- Determinarea expresiei condiției de angrenare;
- Cercetări numerice cu privire la verificarea soluției ecuației angrenării;
- Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute, respectiv un program de calcul pentru melcul conic înfășurător, precum și un program pentru generarea flancurilor dinților roții conjugate melcate cu conicitate inversă, utilizând metoda avansului axial;
- Reprezentarea grafică a angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă;
- Proiectarea și execuția unei freze-melc având conicitate inversă;
- Proiectarea și execuția tehnologiei melcului conic, aparținând unui angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă;
- Proiectarea și execuția tehnologiei de danturare a roților melcate frontale având conicitatea inversă, utilizând metoda avansului axial pe mașina de danturat;
- Proiectarea și executarea unui stand mecatronic complex pentru încercarea și testarea reductoarelor cu angrenaje frontale;
- Încercarea și testarea reductoarelor echipate cu angrenaje melcate frontale cu conicitate inversă.

Capitolul II

Contribuții teoretice privind definirea geometriei și a cinematicii de prelucrare a danturii angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă

Suprafețele înfășurătoare ale melcului conic de tip arhimedic sunt generate de două drepte care prin mișcarea elicoidală conică generează doi elicoizi conici de același pas și parametru, corespunzând flancului portant respectiv, flancului de sprijin a melcului conic.

Fie două sisteme de coordonate S_1 și S_2 atașate rigid de profilul generator și un sistem de coordonate fix S_0 în care este reprezentat elicoizul conic, conform cu figura 2. Sistemul S_1 , în raport cu sistemul S_0 execută mișcarea elicoidală conică în jurul axei Z_0 în care este definită axa mișcării elicoidale conice, astfel fiecare punct aparținând sistemului S_1 generează prin mișcarea elicoidală conică câte o elice conică, figura 3.

Fie liniile ME și NF legate rigid definite în același plan, sunt liniile care

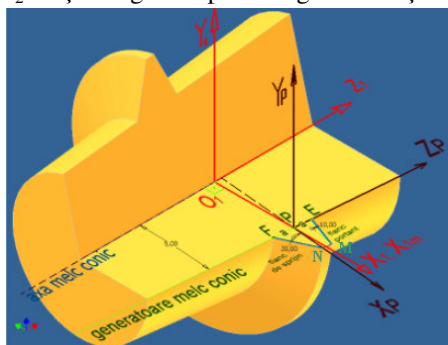


Fig.2. Definirea sistemelor de referință pe profilul atașat melcului înfășurător arhimedic cu conicitate inversă

constituie practic profilul generator și care generează elicoidul conic în timpul executării mișcării elicoidale conice.

Ecuțiile parametrice pentru *elicoidul conic al flancului portant*, sunt reprezentate de relația (1):

$$\begin{cases} x_1(u, v) = (\xi u + \eta v + \zeta) \cos v \\ y_1(u, v) = -(\xi u + \eta v + \zeta) \sin v \\ z_1(u, v) = -u \xi_1 + v \eta_1 + \zeta_1 \end{cases} \quad (1)$$

Ecuțiile parametrice pentru *elicoidul conic al flancului de sprijin*, sunt reprezentate de relația (2):

$$\begin{cases} x_1(u, v) = (\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \cos v \\ y_1(u, v) = -(\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \sin v \\ z_1(u, v) = -u \xi_3 + v \eta_1 - \zeta_3 \end{cases} \quad (2)$$

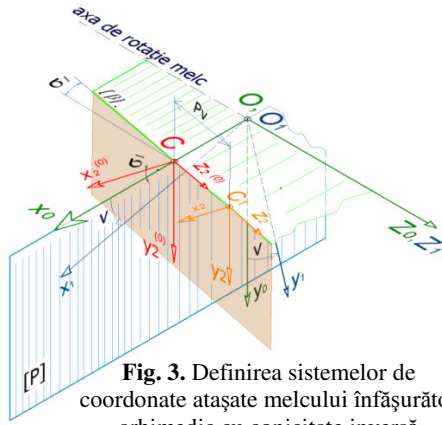


Fig. 3. Definierea sistemelor de coordonate atașate melcului înfășurător arhimedic cu conicitate inversă

Relațiile matematice parametrice din (1) și (2), definesc complet și univoc cei doi elicoizi conici, aparținând melcului înfășurător conic. Pentru simplificarea calculelor se notează parametrii cu următoarele relații (3):

$$\begin{cases} \cos \frac{(\sigma_1 + \alpha_1)}{\cos \alpha_1} = \xi \\ p \sin \sigma_1 = \eta \\ r_{01} + a \sin \sigma_1 = \zeta \end{cases}; \begin{cases} \sin \frac{(\alpha_1 + \sigma_1)}{\cos \alpha_1} = \xi_1 \\ p \cos \sigma_1 = \eta_1 \\ a \cos \sigma_1 = \zeta_1 \end{cases}; \begin{cases} \cos \frac{(\alpha_1 - \sigma_1)}{\cos \alpha_2} = \xi_2 \\ p \sin \sigma_1 = \eta \\ r_{01} - a \sin \sigma_1 = \zeta_2 \end{cases}; \begin{cases} \sin \frac{(\sigma_1 - \alpha_2)}{\cos \alpha_2} = \xi_3 \\ p \cos \sigma_1 = \eta_1 \\ a \cos \sigma_1 = \zeta_1 \end{cases} \quad (3)$$

Reprezentarea grafică a suprafețelor înfășurătoare elicoidale conice pentru flancul portant, respectiv flancul de sprijin aparținând melcului înfășurător conic, se poate observa în figura 4.

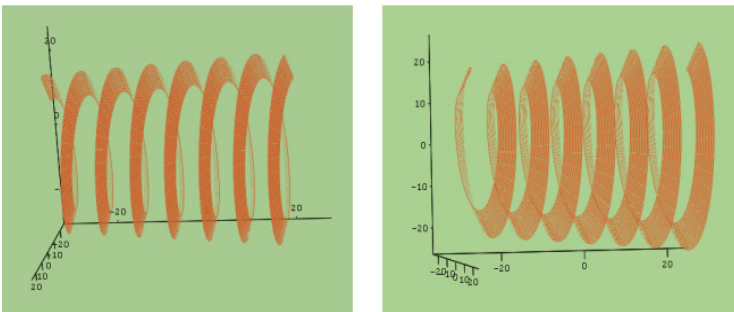


Fig. 4. Reprezentarea suprafețelor înfășurătoare elicoidale conice pentru flancul portant, flancul de sprijin

În figura 5 este reprezentată schematic poziția relativă a sculei freză-melc cu conicitate inversă și a roții melcate frontale în timpul procesului de generare prin metoda avansului axial precum și sistemele de referință atașate.

Sistemele de referință care permit evidențierea cinematicii de generare prin metoda avansului axial sunt următoarele: O_0, X_0, Y_0, Z_0 - sistem fix; O_1, X_1, Y_1, Z_1 - sistem legat de melc; O_2, X_2, Y_2, Z_2 - sistem legat de roata melcată.

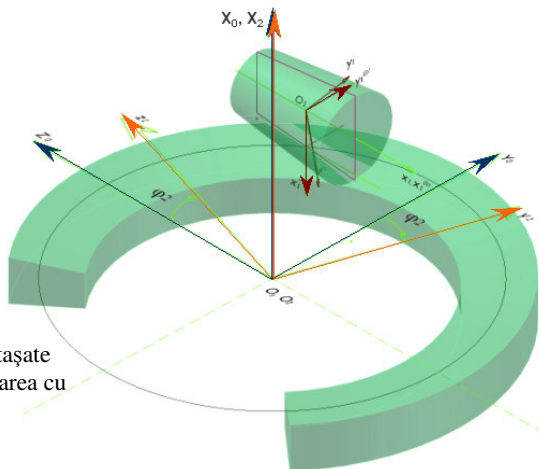


Fig. 5. Sistemele de referință atașate sistemului de generare la prelucrarea cu avans axial

Ecuțiile parametrice ale familiei de suprafețe aparținând **flancului portant** se definesc de relația (4):

$$\begin{cases} x_2(u, v, \varphi) = -(\xi_1 u + \eta v + \zeta) \cos v \cos \varphi - (\xi_1 u + \eta v + \zeta) \sin v \sin \varphi + r_{10} \\ y_2(u, v, \varphi) = (\xi_1 u + \eta v + \zeta) \cos v \cos \varphi_2 \sin \varphi - (\xi_1 u + \eta v + \zeta) \sin v \cos \varphi_2 \cos \varphi + \\ + (-u \xi_1 + v \eta_1 + \zeta_1) \sin \varphi_2 + A \cos \varphi_2 - B \sin \varphi_2 \\ z_2(u, v, \varphi) = (\xi_1 u + \eta v + \zeta) \cos v \sin \varphi_2 \sin \varphi + (\xi_1 u + \eta v + \zeta) \sin v \sin \varphi_2 \cos \varphi - \\ - (-u \xi_1 + v \eta_1 + \zeta_1) \cos \varphi_2 + A \cos \varphi_2 + B \cos \varphi_2 \end{cases} \quad (4)$$

Ecuțiile parametrice ale familiei de suprafețe aparținând **flancului de sprijin** se definesc de relația (5):

$$\begin{cases} x_2(u, v, \varphi) = -(\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \cos v \cos \varphi - (\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \sin v \sin \varphi + r_{10} \\ y_2(u, v, \varphi) = (\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \cos v \cos \varphi_2 \sin \varphi - (\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \sin v \cos \varphi_2 \cos \varphi + \\ + (-u \xi_3 + v \eta_1 - \zeta_3) \sin \varphi_2 + A \cos \varphi_2 - B \sin \varphi_2 \\ z_2(u, v, \varphi) = (\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \cos v \sin \varphi_2 \sin \varphi + (\xi_2 u + \eta v + \zeta_2) \sin v \sin \varphi_2 \cos \varphi - \\ - (-u \xi_3 + v \eta_1 - \zeta_3) \cos \varphi_2 + A \cos \varphi_2 + B \cos \varphi_2 \end{cases} \quad (5)$$

Ecuțiile angrenării pentru flancul portant sunt definite de relația (6)

$$\left(i_{21} \xi_1 (z_1 - B) (\xi_1 u + \eta v + \zeta) - i_{21} \xi_1 (\xi_1 u + \eta v + \zeta)^2 \right) \sin(\varphi_1 - \nu) + p i_{21} (z_1 - B) \cos(\varphi_1 - \nu) = (\xi_1 u + \eta v + \zeta) (i_{21} A \xi_1 - p) \quad (6)$$

Ecuțiile angrenării pentru flancul de sprijin sunt definite de relația (7):

$$\left(i_{21} \xi_2 (z_1 - B) (\xi_2 u + \eta v + \zeta) - i_{21} \xi_2 (\xi_2 u + \eta v + \zeta)^2 \right) \sin(\varphi_1 - \nu) + p i_{21} (z_1 - B) \cos(\varphi_1 - \nu) = (\xi_2 u + \eta v + \zeta) (i_{21} A \xi_2 - p) \quad (7)$$

Figura 6, prezintă reprezentarea grafică a suprafețelor înfășurătoare conjugate melcului conic, aparținând unui angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, având următoarele caracteristicile geometrice și funcționale: conicitate melc $\sigma_1=5^\circ$, conicitate interioară roată melcată $\sigma_2=8^\circ$, unghiul de presiune flanc portant $\alpha_1=10^\circ$, unghiul flancului de sprijin $\alpha_2=30^\circ$, diametrul mediu de referință melc conic $d_{c1}=45\text{mm}$, modul $m=2,5\text{mm}$ și distanța axială $A=58\text{mm}$.

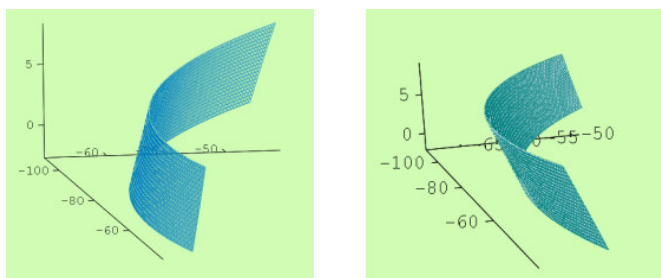


Fig.6. Reprezentarea suprafeței reciproc înfășurătoare a flancului portant, respectiv a flancului de sprijin corespunzătoare roții melcate frontale cu conicitate inversă

Astfel, pentru reprezentarea grafică 3D a unui angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, s-au luat în considerare un caz real definit, prezentând următoarele caracteristici geometrice: distanța axială $A=58\text{mm}$, raportul de transmitere $i=1:47$, tipul melcului arhimedic-stânga, modul $m=2,5\text{mm}$, unghiul flancului portant $\alpha_1=10^\circ$, unghiul flancului de sprijin $\alpha_2=30^\circ$, conicitate melc $\sigma_1=5^\circ$, roata melcată frontală cu conicitate inversă $\sigma_2=8^\circ$.

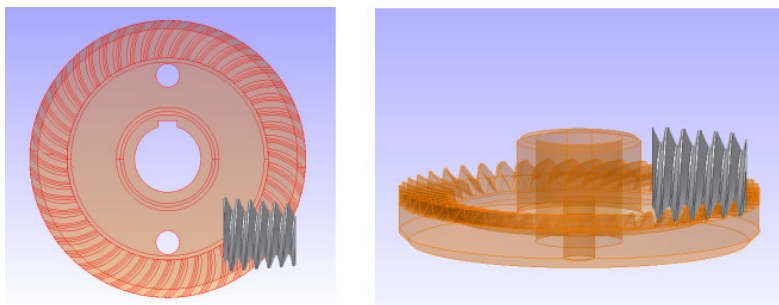


Fig.7. Angrenajul melcat frontal cu conicitate inversă
-reprezentare 3D

Simularea numerică efectuată prezentată în figura 7, a demonstrat corectitudinea modelului matematic realizat, astfel sunt create condițiile pentru proiectarea, realizarea și testarea unui model funcțional real a unui angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă.

Capitolul III

Cercetări experimentale legate de tehnologia de danturare a angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă

Elementul definitoriu al angrenajului melcat frontal este un melc conic, rulând pe o suprafață conică interioară cu pas constant. Materialul din care este prelucrat melcul conic, este un oțel aliat 41MoCr11, conform SR EN 10084-2002, îmbunătățit și apoi nitrurat, duritatea de 960HV.

În figura 8 este prezentat melcul conic după efectuarea tratamentului termic de nitrurare.



Fig.8. Melc conic nitrurat



Fig.9. Freza-melc cu conicitate inversă executată [21]

Frezele-melc pentru angrenajele melcate frontale cu conicitate inversă, prezintă câteva particularități, respectiv muchiile așchietoare asimetrice sunt dispuse pe un melc înfășurător cvasiidentificabil cu melcul conic funcțional de tip arhimedic, având sensul de înfășurare al elicei conice, pe stânga. Adâncimea și pasul fiind constante de-a lungul generatoarei conului, respectiv canalele pentru evacuarea așchiilor sunt paralele cu axa geometrică a sculei.

În figura 9 se prezintă varianta executată în premieră națională, a frezei-melc cu conicitate inversă, executată din oțel rapid pentru scule, stare normalizată, Rp3 STAS 7328-88.

În acest capitol se prezintă o serie de aspecte, clarificate în mod experimental, legate de prelucrarea roților melcate frontale cu conicitate inversă, danturate prin metoda avansului axial, prelucrate din materiale diferite: poliamidă (Ertacetal C), fontă cenușie - EN-GJS-HB250 SR EN1564 (Fc 250) și respectiv bronz (CuSn12) SR ISO 1190-1-1993.

Pentru parcurgerea programului experimental s-au utilizat roți aparținând unui angrenaj frontal cu conicitate inversă (figura 10), având următoarele caracteristici specifice: modul $m=2,5\text{mm}$; numărul de dinți ai roții $z_2=47$; numărul de începuturi a melcului $z_1=1$; tipul melcului: arhimedic conic având unghiul de $\sigma_1=5^0$; sens de înfășurare stânga, unghiurile flancului portant $\alpha_1=10^0$, respectiv flancul de sprijin

$\alpha_2=30^\circ$; distanța axială $A=58\text{mm}$; diametrul exterior al coroanei $d_e=174\text{mm}$, diametrul interior al coroanei $d_i=127\text{mm}$, conicitate interioara de $\sigma_1=8^\circ$, înălțimea dintelui $h=6,6\text{mm}$.

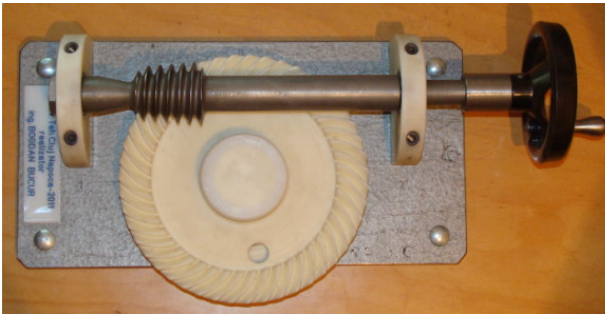


Fig.10. Macheta angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă

Pozițiile relative de lucru ale sculei și semifabricatului, mișcările necesare procesului de generare precum și lanțurile cinematice utilizate sunt prezentate în figura 11 și corespund celor din [18,24].

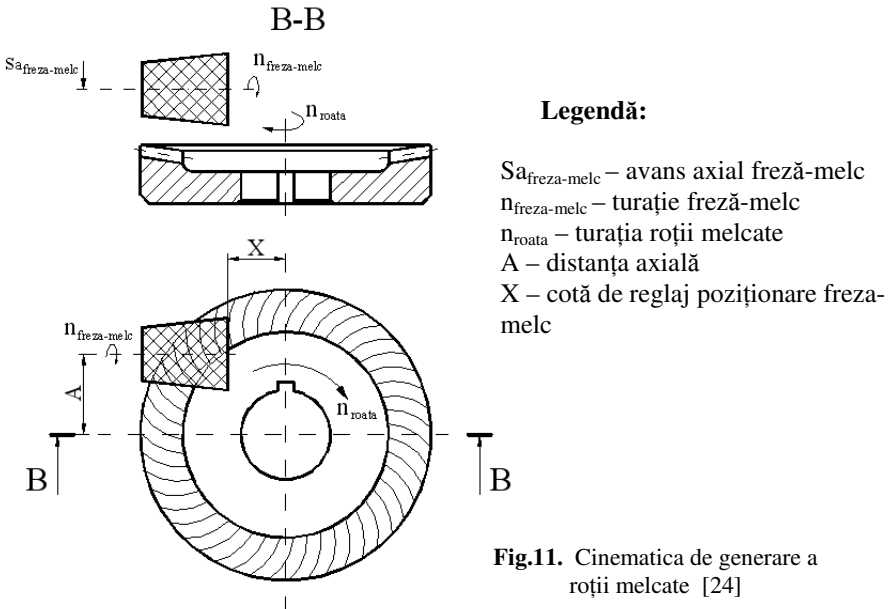


Fig.11. Cinematica de generare a roții melcate [24]

În figura 12 sunt prezentate câteva aspecte din procesul de danturare a roții melcate frontale cu conicitate inversă, prin procedul de prelucrare cu freză-melc cu

conicitate inversă, utilizând metoda avansului axial, mișcările efectuate sunt următoarele:

- Freza-melc execută mișcarea principală de așchiere (rotație în jurul propriei axe) precum și mișcarea de avans axial;
- Semifabricatul roții execută o mișcare de rotație care corespunde raportului de transmisie dintre freza-melc cu conicitate inversă și roata-melcată frontală.



Fig.12. Prelucrarea roților melcate frontale cu conicitate inversă
a.semifabricat din poliamidă, b.semifabricat din fontă, c.semifabricat din bronz

În urma prelucrării danturării roților melcate frontale cu conicitate inversă, cu avans axial, rezultă roțile melcate frontale din materialele prezentate, figura 13.



Fig.13. Roți melcate frontale cu conicitate inversă [40]

Condițiile de angrenare specifice angrenajului melcat frontal impun verificarea următorilor parametri [105,155]: abaterea distanței dintre axe în angrenaj, distanța de deplasare axială și montaj a melcului, eroarea unghiului dintre axe și pata de contact conform criteriilor contactului dintre dinți și criteriul preciziei cinematice.

Pentru controlul angrenajelor melcate frontale studiate în cadrul cercetării efectuate, s-a procedat la determinarea petei de contact și abaterii cinematice în condițiile respectării distanței axiale și a distanței de montaj a melcului, executându-se printr-o probă de funcționare prin aplicarea unui moment rezistent de valoare redusă pe aparatul PEK 300, model Klingelnberg, din cadrul Uzinei Mecanice Cugir. Operațiunea de control este evidențiată în figura 14.

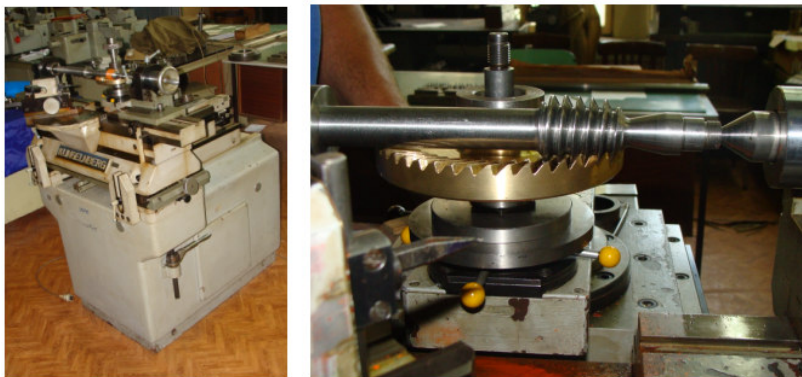


Fig.14. Determinarea petei de contact pe mașina PEK 300, model Klingelberg

În lipsa unui standard specific ca referință pentru controlul angrenajelor melcate cu conicitate inversă, s-a luat în considerare STAS 6461-81, care definește toleranțele pentru angrenajele melcate cilindrice. În urma determinărilor efectuate se constată că abaterea cinematică a angrenajului măsurat excede valorile clasei a 8-a, iar în ceea ce privește precizia angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă, folosind ca indice pata de contact, se constată că valorile de precizie măsurate excede valorile clasei a 9-a de precizie, figura 15.

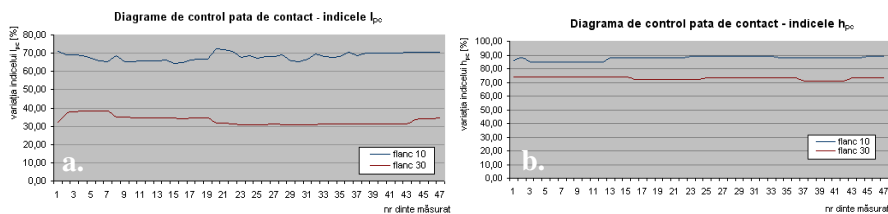


Fig.15. Reprezentarea grafică a indicilor de control pentru pata de contact a roții melcate frontale cu conicitate inversă
a. indicele de control I_{pc} ; b. indicele de control h_{pc}

Astfel în urma măsurătorilor efectuate, se evidențiază comparativ conform [155], distribuția procentuală a lungimii liniei de contact figura 15a, respectiv înălțimea petei de contact figura 15b.

Valorile medii rezultate pentru flancul de 10° și 30° sunt:

- pe lungime dintelui este: $I_{pc10} = 68,24\%$, $I_{pc30} = 33,09\%$;
- pe înălțimea dintelui este: $h_{pc10} = 87,46\%$, $h_{pc30} = 72,88\%$.

Se poate afirma că îmbunătățirea preciziei de execuție a frezei melc, precum și creșterea rigidității la fixarea acesteia în timpul prelucrării, va atrage după sine o îmbunătățire sensibilă a distribuției petei de contact. Ceea ce va avea ca efect, o creștere a capacității portante a angrenajului sub sarcină.

Capitolul IV

Cercetări experimentale privind funcționarea angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă

În cadrul cercetării de față s-a procedat la efectuarea unui studiu comparativ, al funcționării reductoarelor având un angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, realizat în trei combinații de cupluri de materiale (figura 16): melcul conic din oțel aliat nitrurat în mediu gazos, iar roata melcată frontală cu conicitate inversă este executată din poliamidă, fontă și bronz. În cadrul aceluiași experiment, s-a determinat alături de limita termică și nivelul de zgomot și randamentul angrenajului, în condiții de lubrifiere cu ulei T90EP2.

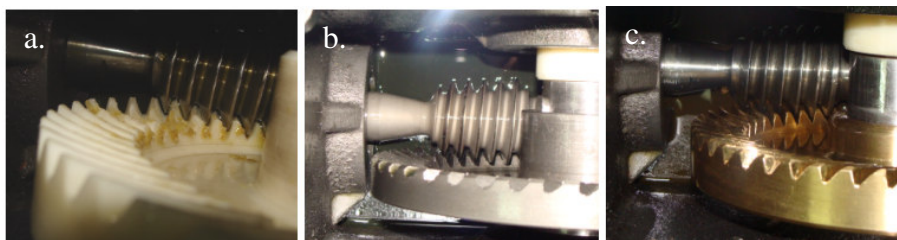


Fig.16. Reductor cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă

a. cuplu de materiale oțel-poliamidă, b. cuplu de materiale oțel-fontă, c. cuplu de materiale oțel-bronz

Reductorul de turație experimentat are în structura sa un angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, cu axe încrucișate. Soluția tehnică constructivă realizată este prezentată în figura 17, [25].

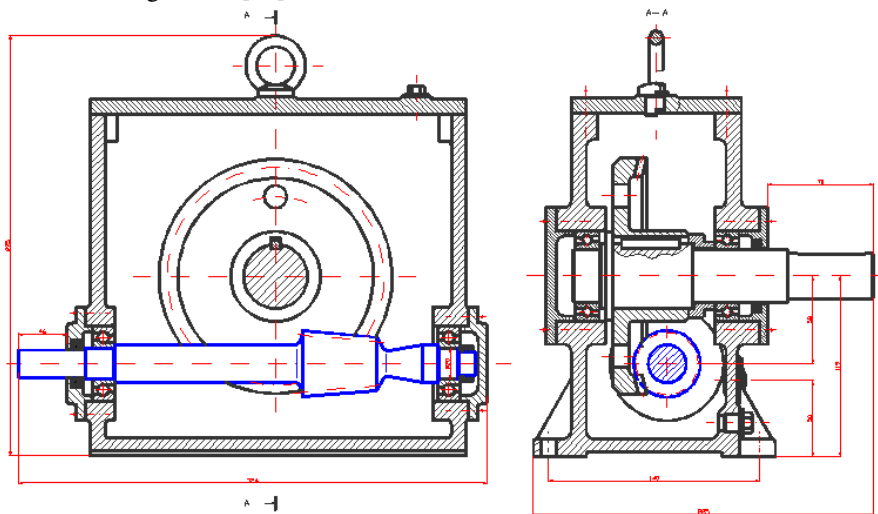


Fig.17. Reductor cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversa [25]

Pentru determinarea, achiziția și vizualizarea datelor experimentale comparative pentru angrenajele supuse încercărilor s-a proiectat și realizat un stand pentru încercarea acestora, prezentat în figura 18.

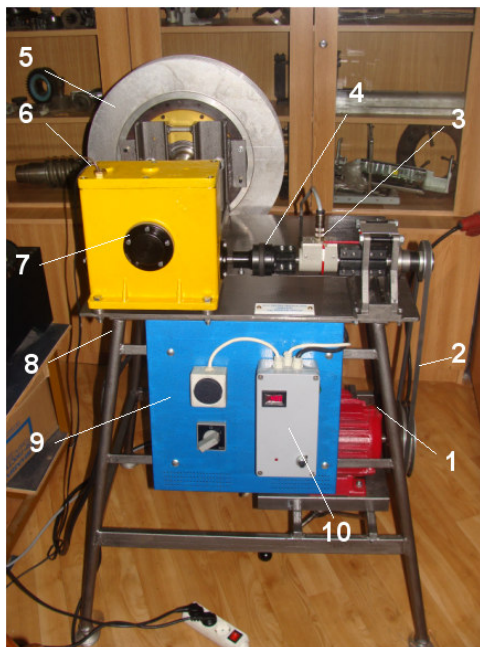


Fig.18. Construcția standului experimental [40]

Legendă:

- 1.motor electric;
- 2.transmisie curea trapezoidală;
- 3.traductor de momente T5;
- 4.cuplaj;
- 5.frână FRAT 3500;
- 6.sondă termică;
- 7.reductor melcat;
- 8.structură stand;
- 9.panou de comandă;
- 10.echipament comandă frână;

Standul, a cărei construcție și funcționare este prezentat în lucrarea [37], permite studiul experimental al limitei termice, determinarea randamentului, precum și determinarea experimentală a nivelului de zgomot și vibrații. Aceste determinări au fost efectuate pentru diferite trepte de încărcare ale reductoarelor încercate, realizate din diferite cupluri de materiale: oțel-ertacetel C, oțel-fontă și oțel-bronz.

Standul, a cărei construcție și funcționare este prezentat în lucrarea [37], permite studiul experimental al limitei termice, determinarea randamentului, precum și determinarea experimentală a nivelului de zgomot și vibrații. Aceste determinări au fost efectuate pentru diferite trepte de încărcare ale reductoarelor încercate, realizate din diferite cupluri de materiale: oțel-ertacetel C, oțel-fontă și oțel-bronz.

Schema bloc de funcționare a standului este prezentată în figura 19.

Interfața grafică, figura 20, prezintă o structură relativ simplă, respectiv trei zone distincte de vizualizare: câmpul de vizualizare al variației momentului de torsiune intrare (1); câmpul de vizualizare pentru temperatura măsurată în baia de ulei (2); zona de corecție și salvare a datelor achiziționate (3).

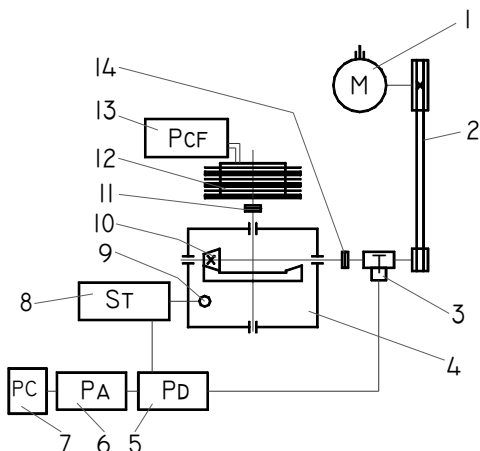


Fig. 19. Schema bloc a standului experimental

Legendă:

- 1.motor electric;
- 2.transmisie curea trapezoidală;
- 3.traductor de momente T5;
- 4.carcasă reductor;
- 5.placă de distribuție date;
- 6.placă de achiziție;
- 7.program vizualizare interfață grafică;
- 8.sondă termică;
- 9.senzor temperatură;
- 10.angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă;
- 11.cuplaj frână;
- 12.frână cu pulberi electro-magnetice; FRAT 3500;
- 13.panou de comandă frână;
- 14.cuplaj traductor.

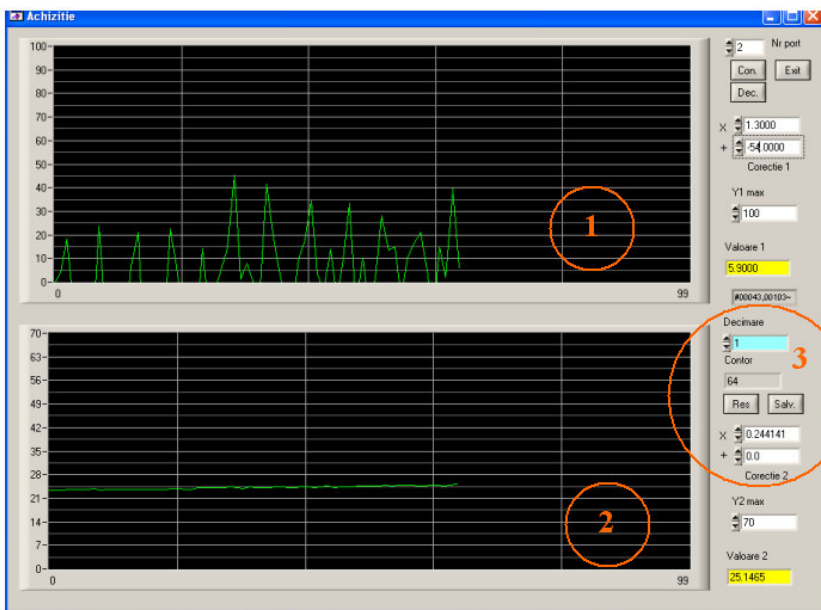


Fig.20. Program vizualizare date achiziție [38]

Din analiza datelor achiziționate, privind efectuarea programului de experimentare exploratoriu prezentat, s-a obținut un important volum de date experimentale pentru fiecare tip de angrenaj. Datele achiziționate sunt prezentate sinoptic în figurile 21, 22, 23, unde se pot observa treptele de încărcare efective

pentru fiecare flanc, evoluția și palierele de temperatură în baia de ulei, precum și evidențierea randamentului, pentru fiecare variantă de angrenaj.

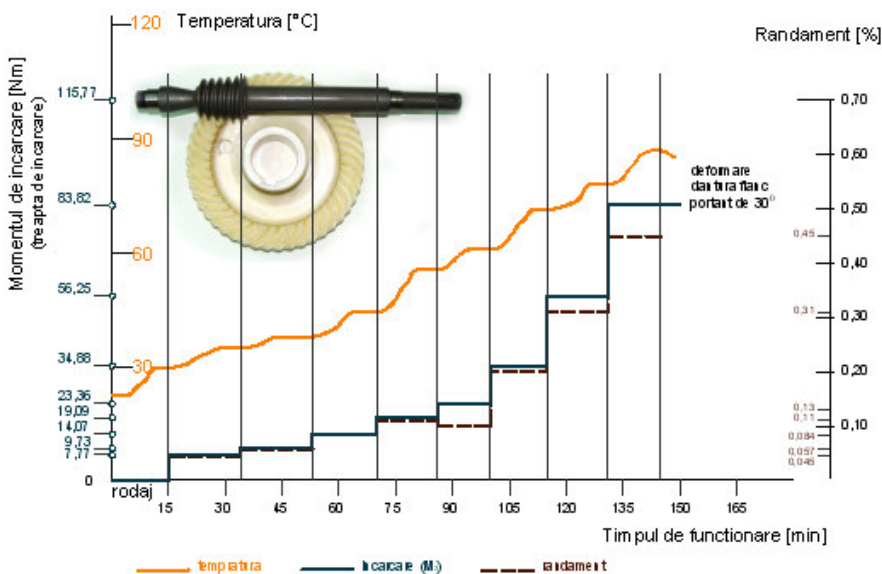
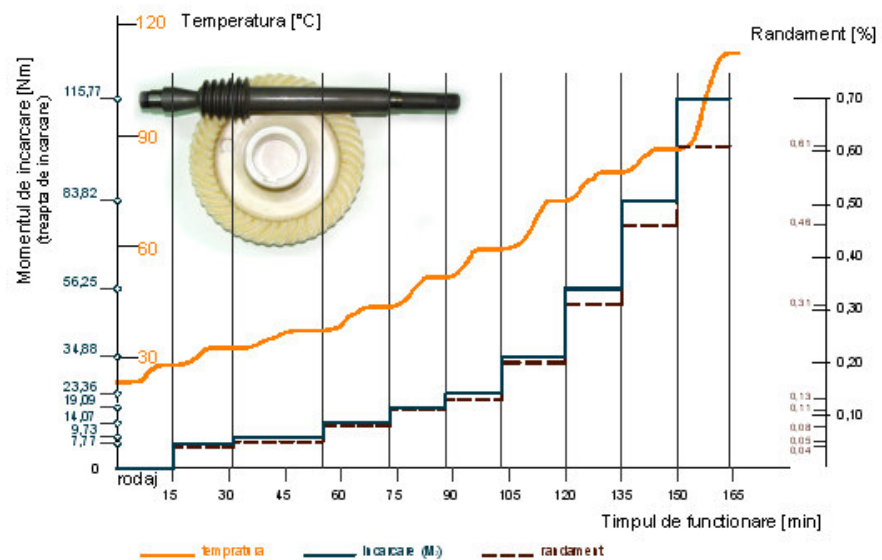


Fig. 21. Variația temperaturii și a randamentului în funcție de momentul de încărcare (cuplul de materiale: oțel-poliamidă, flanc portant de 10°, 30°)

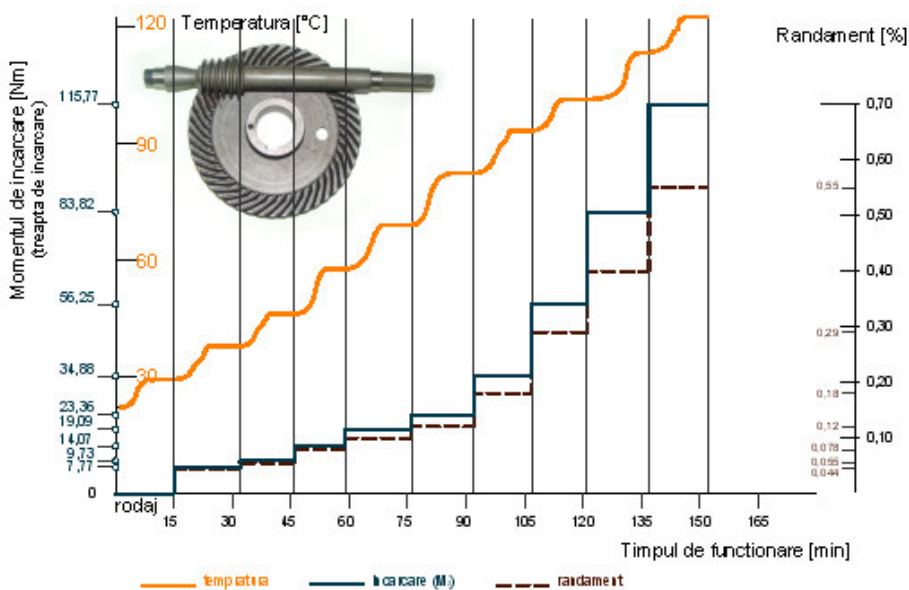
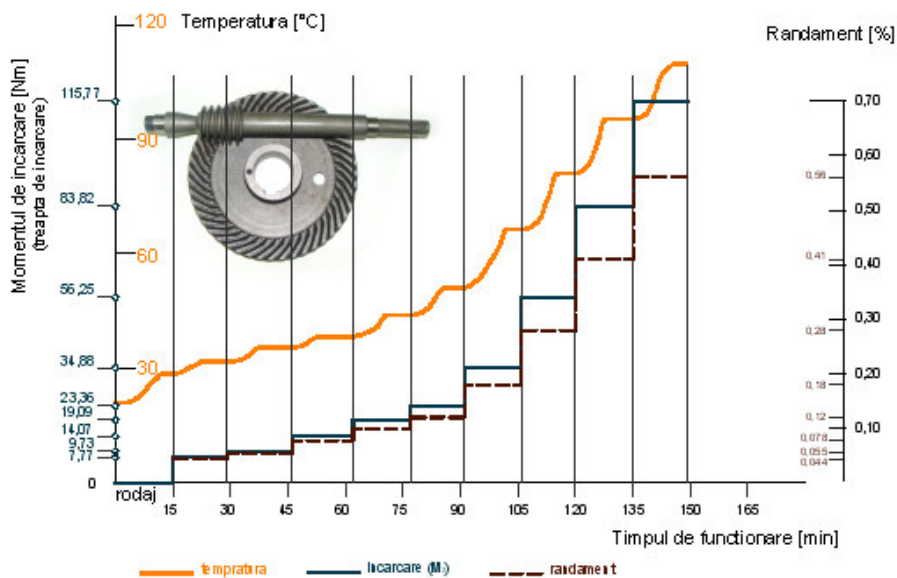


Fig. 22. Variația temperaturii și a randamentului în funcție de momentul de încărcare (cuplul de materiale: oțel-fontă cenușie, flanc portant de 10° , 30°)

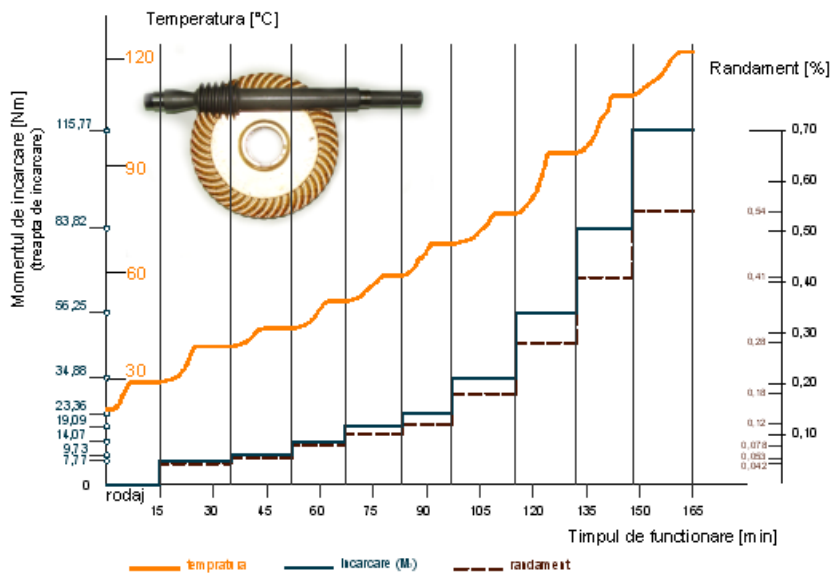
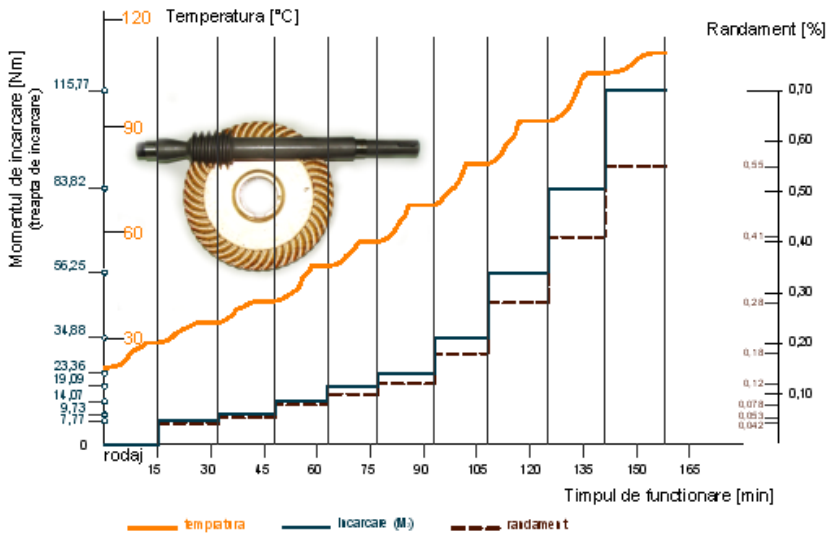


Fig. 23. Variația temperaturii și a randamentului în funcție de momentul de încărcare (cuplul de materiale: oțel-bronz, flanc portant de $10^0,30^0$)

Comparația datelor achiziționate cu privire la nivelul de zgomot și nivelul de vibrații, pentru reductoare echipate cu angrenaje melcate frontale cu conicitate

inversă și prezentând cupluri de materiale diferite, reprezintă un indicator important în ceea ce privește stabilirea nivelului de silențiozitate în funcționarea acestor reductoare.

Pentru datele achiziționate măsurate, în figurile 24 și 25 sunt prezentate grafic comparativ pentru cele trei tipuri de angrenaje, reprezentând nivelul de zgomot și nivelul de vibrații, identificat pentru fiecare treaptă de încărcare, respectiv pentru angrenarea cu flancul portant de 10^0 , respectiv 30^0 .

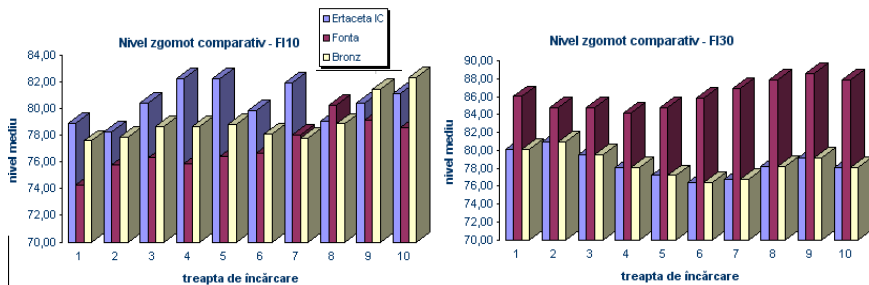


Fig.24. Grafic comparativ nivel de zgomot flanc portant de 10^0 , flanc portant de 30^0

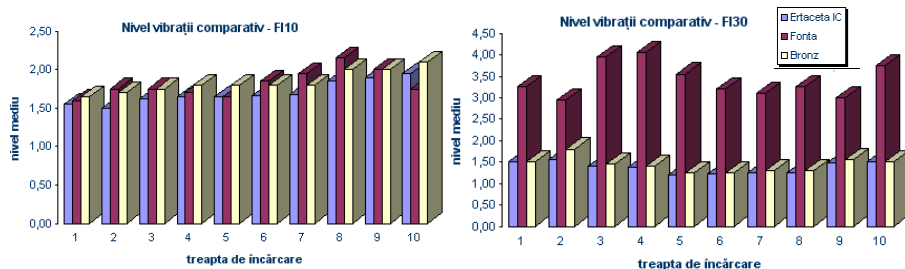


Fig.25. Grafic comparativ nivel de vibrații flanc portant de 10^0 , flanc portant de 30^0

Urmărind reprezentările grafice din figurile 24 și 25, se desprind următoarele observații:

- reductorul care folosește cuplul oțel-poliamidă, prezintă un grad de silențiozitate ridicat comparativ cu celelalte tipuri de angrenaje;
- reductoarele care folosesc cupurile de materiale: oțel-fontă și oțel-bronz, au o comportare sub aspectul nivelului de zgomot, respectiv vibrații aproximativ identică;
- pentru a se obține rezultate cu grad mare de încredere, în ceea ce privește nivelul de zgomot și vibrații, experimentul necesită a fi repetat cu un lot mai mare de reductoare din fiecare categorie, pentru a exclude efectul unor parametrii accidentali.

Capitolul V

Concluzii generale, contribuții și perspective

În urma cercetării bibliografice precum și parcurgând cele prezentate în capitolele anterioare, referitor la studiul teoretic, numeric și experimental efectuat cu

privire la cinematica, tehnologia și comportarea în funcționare a angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă, se pot formula următoarele concluzii:

a) cu caracter general:

- Studiul bibliografic efectuat a evidențiat faptul că angrenajele melcate frontale cu conicitate inversă, brevetate de către A.K. Georgiev, în anul 1966, nu au cunoscut o dezvoltare până în prezent, decât într-o mică măsură. Argumentarea acestei stări de fapt constă în următoarele:

- lipsa standardelor care să asigure condițiile tehnice privitoare la: terminologie, geometrie, metode de calcul geometric și de portanță, precizia de execuție, etc;
- lipsa datelor cu privire la tehnologiile de fabricație a melcilor și a roților melcate frontale cu conicitate inversă, precum și a datelor de proiectare concrete legate de acestea;
- lipsa informațiilor privind comportarea în exploatare a acestor angrenaje, în diverse combinații de materiale și lubrifieri în exploatare.

b) cu privire la cinematica și geometria angrenajului:

- Lipsa referințelor bibliografice privitoare la geometria angrenajelor frontale cu conicitate inversă a impus efectuarea unui studiu care să permită realizarea unui model matematic pentru melcul conic și pentru roata melcată conjugată;
- Din aceleași considerente s-a impus realizarea unei metode de calcul geometric al acestui tip de angrenaj;

c) cu privire la tehnologia de execuție a elementelor componente ale angrenajului:

- Execuția melcilor cu conicitate inversă se poate realiza în condiții similare de execuție a melcilor cilindrici, cu mențiunea că strungul utilizat pentru prelucrare trebuie să fie dotat cu dispozitive specifice pentru strunjirea conică.
- Execuția fezei-melc cu conicitate inversă în construcție monobloc, introduce câteva restricții legate de operațiunea de realizare a fețelor de degajare, în ceea ce privește cursa de ieșire a pietrei abrazive;
- Dinții frezei-melc datorită înălțimii acestora, au o secțiune la zona de încastrare mai redusă ceea ce micșorează rezistența la încovoiere acestora, aparând pericolul de rupere al acestora la prelucrarea cu regimuri mai intense;
- Freza-melc monobloc în ansablul său, are o rigiditate mai scăzută datorită montajului în consolă;
- Impreciziile de execuție ale sculei de danturat, au influențat negativ precizia angrenajului melc-roată melcată rezultat;
- Prelucrarea unor roți melcate cu conicitate inversă pe mașina de danturat FD 500-UM Cugir, nu ridică dificultăți deosebite legate de rezistența și uzura sculei dar impune anumite modificări la gama de avansuri axiale ale mașinii în sensul micșorării avansului axial sub limita de 0,4 mm/rot, a roții melcate;
- Procesul de prelucrare al dinților cu freza melc, având canalele de evacuarea a așchiilor paralele cu axa frezei, nu asigură o așchiere în condiții optime în ceea ce privește vibrațiile și această freză necesită canale pentru evacuarea așchiilor

perpendicularare pe suprafața elicoidală a flancurilor similar angrenajelor melcate obișnuite;

d) cu privire la modul de comportare în exploatare a angrenajului:

- Angrenajele melcate frontale cu conicitate inversă prelucrate prin tehnologia descrisă în capitolele anterioare au avut o comportare corespunzătoare în funcționare sub sarcină;

- Intervalul de momente rezistente, pentru care a fost realizat programul experimental, evidențiază o comportare specifică angrenajelor cu axele încrucișate în spațiu, atât în ceea ce privește randamentul cât și ceea ce privește nivelul de zgomot;

- Avantajele funcționale pe care le asigură geometria acestui tip de angrenaj, se regăsesc în valorile experimentale obținute, dar ele au fost influențate în bună măsură în sens negativ, de impreciziile de execuție ale frezei melc folosite la danturarea roților;

- Rezultatele experimentale pentru cele trei cupluri de materiale, în intervalul de momente posibil de aplicat pe standul de încercări conceput, arată o comportare sensibil apropiată a reductoarelor încercate. Se poate aprecia că pentru aplicații industriale, cuplul de materiale oțel-poliamidă, poate fi utilizat în mod deosebit numai pentru aplicații cu caracter cinematic, dată fiind capacitatea portantă (a se vedea fenomenul de deteriorare a flancurilor dinților), mai redusă comparativ cu, cuplul oțel-fontă, oțel-bronz;

Contribuții originale:

Cercetarea complexă efectuată, în cadrul prezentei teze, din punct de vedere al geometriei, cinematicii, tehnologiei, precum și al modului de comportare în funcționare, are ca rezultat un număr semnificativ de contribuții originale. Dintre acestea se impune a fi menționate următoarele:

a) sub aspectul cinematic și geometric:

- Evidențierea faptului că angrenajele melcate conice exterioare, acceptă două conuri ca suprafețe de rulare, deoarece acestea pot avea o tangentă comună exterioară, de remarcat este faptul că acest lucru este imposibil în cazul angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă prezentat;

- Evidențierea faptului că suprafața de rostogolire înfășurătoare interioară de cea mai bună aproximare, aparținând roții frontale, este o suprafață hiperboloidală de rotație;

- Stabilirea condițiilor de evitare a interferenței și calculul de dimensionare a elementelor definitorii a angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă;

- Realizarea unui model virtual al melcului conic și a roții melcate conjugate aparținând unui angrenaj frontal cu conicitate inversă, definit;

- Realizarea unei metode de calcul matricial cu privire la studiul și definirea suprafețelor înfășurătoare de rulare melc-roată melcată frontală cu conicitate inversă, determinate ca suprafețe reciproc înfășurătoare;

- Simularea numerică, pe baza metodei de calcul matricial-vectorial, pentru un caz real, a unui angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, având un melc de tip arhimedic, care demonstrează corectitudinea modelului matematic utilizat;

- Propunerea și realizarea unui nou algoritim pentru calculul geometric al angrenajului melcat frontal cu conicitate inversă,

- Conceperea unui program de calcul realizat în mediul Mathcad14, pentru calculul punctelor care definesc suprafețele de înfășurare ale melcului respectiv ale roții melcate, precum și determinarea mărimii unghiului conului suprafeței înfășurătoare II, având generatoarea de cea mai bună aproximare, *anexa 1*;

- Conceperea unui program de calcul realizat în mediul Mathcad14, pentru determinarea coordonatelor punctelor flancurilor elicoidale ale melcului conic, respectiv a flancurilor dinților roții melcate conjugate, *anexa 1*;

- Conceperea unui program care să permită transferul coordonatelor punctelor definitorii ale suprafețelor înfășurătoare (melcului, respectiv flancurile conjugate, ce definesc profilul golului dintelui roții melcate), în mediul Autocad, în vederea reprezentării acestora, *anexa 2*;

- Reprezentarea 3D în mediul Catia V5 a danturii roții melcate;

- Reprezentarea 3D în mediul Inventor 2009 a melcului conic;

- Reprezentarea 3D în mediul Inventor 2009 a angrenajului funcțional.

b) sub aspectul tehnologiei de execuție a elementelor componente ale angrenajului:

- Proiectarea constructivă și realizarea tehnologică a melcilor conici specifici angrenajului studiat;

- Proiectarea constructivă și realizarea tehnologică a roților melcate frontale cu conicitate inversă;

- Proiectarea și execuția în premieră națională a unei freze-melc având conicitate inversă, utilizată la danturarea roților melcate frontale cu conicitate inversă utilizând metoda avansului axial;

- Stabilirea regimului de așchiere și a tehnologiei de danturare a roților melcate frontale cu conicitate inversă, realizate din: poliamidă, fontă și bronz;

- Efectuarea unui program de verificare și control asupra angrenajului studiat;

- Realizarea fizică a trei perechi de angrenaj melcate frontale cu conicitate inversă, folosind cuplurile de materiale: oțel/bronz, oțel/fontă cenușie și oțel/poliamidă.

c) din punct de vedere al caracteristicilor de funcționare a angrenajului studiat:

- Proiectarea și executarea unui redactor echipat cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, realizat în trei variante de cupluri de materiale (oțel-poliamidă, oțel-fontă, oțel-bronz), *anexa 3*;

- Proiectarea și executarea standului pentru încercarea reductoarelor cu angrenaje frontale, soluție constructivă originală, *anexa 3*;

- Proiectarea și executarea standului pentru etalonarea traductorului de momente;

- Proiectarea și realizarea în colaborare a unui bloc de achiziții de date cu privire la temperatura în baia de ulei a reductorului precum și determinarea variației de momente pe arborele de intrare-soluție constructivă originală;

- Proiectarea și realizarea în colaborare a unui program de vizualizare, salvare date achiziționate, în mediul de programare CVI, rezultând o interfață grafică, soluție originală;

- Determinarea limitei termice pentru trei reductoare echipate cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, realizate în trei variante de cupluri de materiale (oțel-poliamidă, oțel-fontă, oțel-bronz);

- Determinarea randamentului pentru trei reductoare echipate cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, realizate în trei variante de cupluri de materiale (oțel-poliamidă, oțel-fontă, oțel-bronz);

- Determinarea nivelului de zgomot pentru trei reductoare echipate cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, realizate în trei variante de cupluri de materiale (oțel-poliamidă, oțel-fontă, oțel-bronz);

- Determinarea nivelului de vibrații pentru trei reductoare echipate cu angrenaj melcat frontal cu conicitate inversă, realizate în trei variante de cupluri de materiale (oțel-poliamidă, oțel-fontă, oțel-bronz);

În diferitele etape ale cercetării, rezultatele obținute au constituit obiectul unor lucrări științifice, în număr de 16, care au fost supuse atenției comunității științifice, din domeniu prin participarea la manifestări științifice naționale și internaționale, și publicarea acestora. Dintre acestea pot fi menționate: International Multidisciplinary Conference, Baia Mare [21,22,23]; International Conference Modern Technologies in Manufacturing Cluj-Napoca [24,28,37,38]; International Scientific Conference Inter-Eng "Petru Maior" University Faculty of Engineering [20,25,29,35,39,40]; International Scientific Conference Prasic "Transilvania" University, Brașov [26]; International Conference on Engineering Graphics and Design, Cluj-Napoca [33]; International Conference "Research and Development in Mechanical Industry", RaDMI, Užice, Serbia [32].

Direcții de cercetare ulterioară:

Stadiul atins în cadrul prezentei cercetări deschide posibilitatea unor noi direcții de aprofundare și dezvoltare specifice, dintre acestea cele mai importante se poate aprecia a fi următoarele:

- optimizări ale funcționării angrenajului prin modelare 3D în medii grafice performante;
- efectuarea unui studiu MEF, pentru evidențierea modului de distribuție al tensiunilor în dantura angrenajului;
- efectuarea unei cercetări privind realizarea unei freze –melc de mare precizie;
- abordarea proiectării parametrizate și generarea angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă utilizând tehnologia CNC;
- încercarea executării acestor angrenaje în combinația oțel durificat-oțel durificat, similar angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric.

Concluzia finală:

Cercetarea efectuată în cadrul prezentei teze, reprezintă o contribuție originală la crearea bazelor teoretice și experimentale care să permită proiectarea, executarea, și încercarea angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă, familie de angrenaje care prezintă multiple avantaje față de alte tipuri de angrenaje cunoscute.

Se poate aprecia că lucrarea de față, asigură elementele necesare introducerii în aplicații industriale a angrenajelor melcate frontale cu conicitate inversă fiind îndeplinite obiectivele stabilite în programul de lucru al cercetării doctorale efectuate.

Bibliografie selectivă

Din cele 182 de referințe bibliografice am selectat următoarele titluri:

- [1] **ABADJIEV, V.I.**, On the synthesis and analysis of spiroid gears. Thesis Ph. D., Sofia 1984
- [7] **BOCIAN, I.**, Studiu geometric al angrenajelor globoidale în vederea măririi capacității portante a acestora. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1976.
- [8] **BOLOȘ, C.**, Contribuții privind tehnologia de danturare a roților melcate spiroide conice. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1995.
- [9] **BOLOȘ, V.**, Modelul matematic al melcului spiroid conic, Buletin științific, vol.VII-VIII, pag.9-15 ISSN1221-3470
- [11] **BOLOȘ, V.**, Cercetări cu privire la cinematica și tehnologia de realizare a angrenajelor melcate spiroide. Teză de doctorat. Institutul Politehnic Cluj-Napoca, 1985.
- [12] **BOLOȘ, V., CODREANU, M. și BOLOȘ, C.**, Transmisie la sulul trăgător al țesăturii de la mașina de țesut. Brevet RSR 88842.
- [13] **BOLOȘ, V., CODREANU, M. și BOLOȘ, C.**, Transmisie la sulul de urzeală de la mașinile de țesut. Brevet RSR 88843.
- [18] **BOLOȘ, V.**, Angrenaje melcate spiroide. Danturarea roților plane, Editura Universității Petru Maior Târgu-Mureș, 1999, ISBN 973-99054-9-8, 264 pag.
- [20] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C., ȘINCAN, R și BUCUR, B.**, The kinematics of the hobbing of the reversed tapered spiroid worm wheels. În volumul Conferinței științifice cu participare internațională "Inter-Ing 2003", 6-7 noiembrie 2003, Tg. Mureș, Romania.
- [21] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C., and BUCUR, B.**, Spiroid hob with reverse tapered. Publication: In: Scientific Bulletin of the International Meeting of the Carpathian Specialists in the Field Gears, 5TH EDITION, 2004 BAIA MARE, Volume number: Serie C, Volume XVIII, MAY 21-24, 2004 BAIA MARE, ISSN 1224-3264 pag.49-52, Romania.
- [22] **BOLOȘ, C., BOLOȘ, V., HAȚEGAN, R., and BUCUR, B.**, The spiroid worm gear – modeling and simulation numerical work gear. Publication: In: Scientific Bulletin of the International Meeting of the Carpathian Specialists in the Field Gears, 5th edition, 2004 Baia Mare. Volume number: Serie C, Volume XVIII, MAY 21-24, 2004 Baia Mare, ISSN 1224-3264 pag.45-48, Romania.
- [23] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C., and BUCUR, B.**, Considerations concerning the manufacturing the spiroid hob with reverse tapered. Publication: In: International Multidisciplinary Conference, 6th Edition, 2005 Baia Mare. Volume number: vol 1, May 27-28, 2005, Baia Mare, Romania, ISBN 973-87237-1-X, pag.59-64, Romania.
- [24] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C. și BUCUR, B.**, The technological characteristic features concerning processing of reverse tapered spiroid wheels. In : Anals of M Te M for 2005 & Proceedings of the 7th International Conference Modern Technologies in Manufacturing 6nd-8nd October, 2005, Cluj-Napoca, Romania. ISBN 973-9087-83-3, p.97-100.
- [25] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C. și BUCUR, B.**, Gearbox with reversed tapered spiroid gearsets În: Proceedings The International Scientific Conference Inter-Ing 2005 "Petru Maior" University Faculty of Engineering, Tg. Mureș, 10 – 11 November 2005, ISBN 973-8084-82.

- [26] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C. și BUCUR, B.** Mathematical vectorial matrix model of the reverse tapered spiroid worm. In: Proceeding of the International Scientific Conference Prasic '06 "Transilvania" University Faculty of Engineering, Brasov, 9 – 10 November 2006, pag.45-50, ISBN (10) 973-635-825-9 (13) 978-973-825-8.
- [27] **BUCUR B.**, Referat nr. I – Stadiul actual al cercetărilor în domeniul angrenajelor melcate spiroide, Cluj-Napoca, 2006.
- [28] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C. și BUCUR, B.** The mathematical and numerical model of spiroid wheel with reverse tapered In: Anals of MTeM for 2007 & Proceedings of the 8th International Conference Modern Technologies in Manufacturing 11nd-12nd October, 2007, Cluj-Napoca, Volume number: vol 1, ISBN 973-9087-83-3, 11-12 October, 2007, Cluj-Napoca, Romania.
- [29] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C. și BUCUR, B.** The mathematical and numerical model of spiroid gear with reverse tapered. În volumul Conferinței științifice cu participare internațională "Inter-Ing 2007", 16-17 noiembrie 2007, Tg. Mures, Romania.
- [30] **BUCUR B.**, Referat nr. II – Contribuții la elaborarea unei noi geometrii și a tehnologiei aferente pentru angrenajele melcate spiroide interioare, Cluj-Napoca, 2007.
- [31] **BUCUR B.**, Referat nr. III – Cercetări numerice și experimentale legate de realizarea unor angrenaje melcate spiroide interioare cu performanțe îmbunătățite, Cluj-Napoca, 2007.
- [32] **BOLOȘ V., BOLOȘ, C., BUCUR, B. and CIOTEA, M.**, The hobbing technology of the spiroid wheels. mathematical model. Publication: In: Proceedings of 8th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry", RaDMI 2008, 14 - 17 September 2008, Užice, Serbia. Volume number: vol 1, ISBN 978-86-83803-24-8, pag. 120-125, 14 - 17 September 2008, Užice, Serbia.
- [33] **BOLOȘ, V., BOLOȘ, C., and BUCUR, B.**: The spiroid worm gear with reverse tapered - specific elements representation. Publication: In: Proceedings of International Conference on Engineering Graphics and Design, UT Cluj-Napoca, ICEGD 2009 12-13 June 2009 Cluj-Napoca, Romania. Volume number: vol 1, ISSN 1221-5872, pag. 137-140, 12-13 June 2009 Cluj-Napoca, Romania.
- [34] **BREZEANU L., BUCUR B.**, FEM analysis of stress and strain state of a worm face-gear with reverse tapered pinion, The 5th edition of the International Conference Interdisciplinarity in Engineering, 3-4 November, 2011, Tîrgu-Mureș, Romania.
- [35] **BREZEANU, L., C.,** Rezistența materialelor – Solicitări fundamentale, Editura Universității " Petru Maior " Tîrgu-Mureș, ISBN 973-97149-9-4, 1998;
- [37] **BUCUR, B., BOLOȘ V.**, Study of the thermal limit of the gearbox worm face-gear with reverse tapered pinion – The experimental bases. Publication: In : Anals of MTeM 2009 & Proceedings of the 9th International Conference Modern Technologies in Manufacturing 8nd-10nd October, 2009, Cluj-Napoca, Volume number: vol 1, ISBN 973-7937-07-04, pag. 33-36, 8-10 October 2009 Cluj-Napoca, Romania.
- [38] **BUCUR, B., BOLOȘ V.**, Experimental study of the thermal limit for the gearbox worm face-gear with reverse tapered pinion. Publication: In : Anals of MTeM for 2011 & Proceedings of the 10th International Conference Modern Technologies in Manufacturing 6nd-8nd October, 2011, Cluj-Napoca, Volume number: vol 1, ISBN 978-606-8372-02-0, pag. 53-56, 6-8 October 2011 Cluj-Napoca, Romania.
- [39] **BUCUR, B., MÁTÉ, M.**, Theoretical peculiarities regarding the definition and representation of the rolling surfaces by a bevel worm gear with the crown gear of inverted concicity. In: Proceedings of 5th the International Scientific Conference Inter-Ing 2011 "Petru Maior" University Faculty of Engineering, 3-5 November 2011, Tg. Mureș, Romania. Volume number: Scientific Bulletin of the "Petru Maior" University of Tîrgu-Mureș, vol. 8 (XXV) no 2, 2011, ISSN 1841-9267, pag. 151-154, Romania.
- [40] **BUCUR, B., BOLOȘ, V.**, Experimental research on noise and vibration level of gearbox using worm face-gear with reverse tapered pinion. Publication in : Proceedings of 5th the International Scientific Conference Inter-Ing 2011 "Petru Maior" University Faculty of Engineering, 3-5 November 2011, Tg. Mureș, Romania. Volume number: Scientific Bulletin of the "Petru Maior" University of Tîrgu-Mureș, vol. 8 (XXV) no 2, 2011, ISSN 1841-9267, pag. 155-158, Romania.
- [41] **DUDAS, I.**, The Theory and Practice of Worm Gear Drives, Penton Press, Lodon, 2000.
- [50] **FLAIR, H.J.**, Hobbing Machine. Brevet SUA, nr. 3078767.
- [55] **GEORGIEV, A.K.** Eelmentǎgeometriceskoi teorii i nekotorǎie voprosǎi proektirovania i proizvodstvo hipoido-cerviacinǎh peredaci. Disertația na soiskania ucenei stepeni kandidata tehniceskikh nauk. Ijevsk, 1965.
- [56] **GEORGIEV, A.K.**, Ortogonal worm-bevel gearing. Brevet SUA, nr. 3289489, 1966.

- [60] **GEORGIEV, A.K.**, Ortogonalnaia cerviacino-koniceskaia peredacia. Brevet URSS 201864.
- [61] **GEORGIEV, A.K., SABUROV, L.N.** Konstrukții prisposobenii i metodika rasceta dlea kontrola profilia zubev koles spiroidnih peredaci. In: Sbornik "Soversenstrovanie pro'esov obrabotkii metalov reyaniem" Vpusk I, Ijevsk, 1976, p.113-123.
- [64] **GEORGIEV, A.K. și FEFER, A.M. și CEKALKIN, G.T.**, Pripisoblenie k tokarno vintoreznomu stanku dlea șlifonia koniceskih cerviakov. Brevet URSS nr.227067.
- [80] **GYENGE, C.**, Contribuții asupra îmbunătățirii preciziei frezelor-melc pentru executarea angrenajului melcat duplex. Teză de doctorat, Inst. Politehnic Cluj-Napoca, 1979.
- [82] **HONG, N.H.**, Nem vonalfeluletu helicon hajtasok vizsgálata es optimalizalasa a hidrodinamikai teherbiras szempontjabol. Doctori ertekezés, Budapest, 1988.
- [86] **KOBAYSHI, A.**, Gearing unit. Brevet SUA nr.2 756 614.
- [94] **LEWICKI, D.G., at all**, Gear Fault Detectin Effectiveness as Applied to Tooth Surface Pitting Fatigue
- [96] **LITVIN, F.L., s.a.**, The effect of Geometrical Parameters of Hypoid and Spiroid gears on its Quality Characteristics, Mechanism and machine Theory, vol. 8, p. 187-196, 1973.
- [97] **LITVIN, F.L.**, Gear Geometry and Applied Theory, PTR Prentice Hall, 1994.
- [102] **LITVIN, F.L., s.a.**, New Geometry of Worm Face Gear Drives With Conical and Cylindrical Worms: Generation, Simulation of Meshing and Stress Analysis, NASA/CR november, no. 211895/2002.
- [103] **LITVIN, F.L.**, Gear Geometry and Apllied Theory, Second Edition,Cambridge Univesity Press, 2004.
- [105] **MAROS, D., KILIMANN, V., ROHONYI, V.**, Angrenaje melcate. Editura Tehnică, București 1966.
- [106] **MĂTIEȘ, V., s.a.** Simulation of Bearing Contact Localization of Worm-Face Gear Drive, Accepted for publication in: Proceedings of Twelfth International Scientific technical Conference "Trans & MotoAuto'05+", 23/25 Nov. , Veliko/Tarnovo, Bulgaria, 2005.
- [107] **MÁTÉ, M.**, Technical Mechanics-Cinematics, Erdélyi Múzeum Egyesület, 2010, ISBN 978-606-8178-10-3, 193 p.
- [108] **MUNTEANU, E.**, Contribuții asupra îmbunătățirii parametrilor geometrice și a sculelor de danturare la angrenajele melc roată plană. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 2009.
- [111] **NAPĂU, I.**, Contribuții la studiul angrenajului melc-roată plană. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1998.
- [112] **NAPĂU, D.**, Contribuții privind modelarea, simularea și experimentarea angrenajelor melc-roată plană cu contact localizat. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 2005.
- [113] **NAPĂU, D.**, Angrenaje melc-roată plană cu contact localizat. Modelare matematică și simulare numerică., Ed. Risoprint, ISBN 978-973-53-0609-0 Cluj-Napoca, 2011.
- [114] **NELSON, W.D.**, Spiroid gearing, Part. 1, 2, 3. In:"Machine Design", vol. 33, nr. 4 (p.136/144), nr. 5 (p.93-100), nr. 6 (p. 165-171), 1961.
- [124] **POMERNACKI, H.**, Spiroid Hob. Brevet SUA, nr. 3059317, 1959.
- [127] **SAARI, O.** Speed reductin gearing. Brevet SUA, nr. 2696125, 1954.
- [128] **SAARI, O.** Method of making speed -reduction gearing. Brevet SUA, nr. 2731886, 1954.
- [129] **SAARI, O.** Skew axis gearing and method of making same. Brevet SUA, nr. 2776578, 1954.
- [131] **SABUROV, L.N.**, Opredelenie minimalnoro vnuternogo diametra vența kolesa ortogonalnoi spiridnoi peredaci s obratno konusnıncercerviakom. In:"Mehaniceskie peredaci". Ijevsk, 1972, p.93-96.
- [135] **SONG, Y.**, Optimum design and 3D CAD/CAE Simulation of Spiroid and Worm Gears, Nothingam Trent University Thesis, 2001.
- [138] **SUDRIJAN, M., VENCEL, C., SÂRBU, M.L., CRIȘAN, N., TOADER, U., HERCIU, D., CIUREA,C.F.**, Angrenaje cicloidale și scule pentru danturare. Ed. Semne, 2006 București, 270 pag.
- [139] **TOOKEY, J.R.** ,Hobbing machine. Brevet SUA, nr. 3105412.
- [152]***** Davall Gears, catalog 2005
- [153]***** Helicon/Spiroid Gears and gear system. ITW-Chicago, 1980
- [154]***** GOST 22850-77 Peredaci spiroidnıie. Terminı. Opredelenia i oboznacenia.
- [155]***** STAS 6461-81 Angrenaje melcate cilindrice. Toleranțe
- [159]***** SEW Magazin, Summer 1996
- [160]***** AGMA ISO Gear Reducers – Thermal Capacity Based on ISO/TR 14179-1