



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA**

FACULTATEA CONSTRUCȚII DE MAȘINI

Inginer Ion Gavrilă

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Cercetări privind tehnologia de finisare a angrenajelor melcate

frontale cu melc cilindric

Research concerning worm face gear with cylindrical pinion

finishing process

Summary of doctoral thesis

**Conducător științific: Prof. dr. ing. Vasile Boloș
Cluj-Napoca**

2012

Suștinerea publică a tezei de doctorat cu titlul „*Cercetări privind tehnologia de finisare a angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric*” va avea loc în data de vineri 1 februarie 2013 ora 11, în Aula Domșa a Universității Tehnice din Cluj-Napoca, str. Constantin Daicoviciu, nr. 15

Comisia de evaluare a tezei de doctorat:

**PREȘEDINTE: Prof. dr. ing. Daniela Popescu - Decan, Facultatea Construcții de
Mașini, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca**

**MEMBRII: Prof. dr. ing. Vasile Boloș - Conducător științific, Universitatea ”Petru
Maior” din Târgu Mureș;**

**Prof. dr. ing. Gheorghe Moldovean - referent, Universitatea Transilvania
Brașov ;**

**Prof. dr. ing. Csaba Gyenge - referent, Universitatea Tehnică din Cluj-
Napoca;**

Prof. dr. ing. Lucian Grama - referent, Universitatea din Oradea.

Cuprins

Prefață	
Introducere	
Listă de abrevieri	5

CAPITOLUL 1. Stadiul actual al cercetărilor legate de finisarea angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric

1.1. Terminologie	11
1.2. Clasificarea și particularitățile constructiv-funcționale ale angrenajelor melcate frontale	13
1.3. Preocupări privind prelucrarea danturii angrenajelor melcate frontale	16
1.4. Preocupări privind finisarea danturilor cu flancuri din oțel durificat	19
1.5. Preocupări privind finisarea danturii angrenajelor melcate frontale	23
1.5.1. Preocupări privind îmbunătățirea operațiilor de rectificare (dressing, finishing)	23
1.5.2. Preocupări privind îmbunătățirea operațiunilor lepuire	24
1.5.3. Preocupări privind îmbunătățirea operațiunilor de lustruire mecanică și superfinisare electrochimică REM	26
1.5.4. Preocupări privind finisarea melcilor prin corectarea topografiei flancului dintelui (crowning)	28
1.5.5. Preocupări privind finisarea melcilor prin modificarea geometriei prin rectificare cu freza disc asistată de CNC	30
1.5.6. Preocupări privind finisarea roților plane	32
1.6. Standuri pentru testarea angrenajelor	34
1.7. Concluzii și obiective	37

Capitolul 2. Proiectarea geometrică a angrenajului melcat frontal cu melc cilindric

2.1. Elemente generale	39
2.2. Metodica de calcul utilizată	40
2.3. Calcul elementelor geometrice ale angrenajului melcat frontal	44
2.4. Concluzii și contribuții	46

Capitolul 3. Cercetări privind tehnologia de execuție a angrenajului melcat frontal din oțel pentru nitrurare

3.1. Materiale folosite	47
3.2. Scule și mașinile unelte folosite	47
3.3. Execuția melcului cilindric	50
3.4. Execuția roții melcate frontale	51
3.5. Durificarea prin nitrurare gazoasă	56
3.6. Studiul posibilităților de control a roților melcate frontale pe mașini de măsurat în 3 axe	58
3.7. Concluzii și contribuții	60

Capitolul 4 Cercetări privind posibilitățile de finisare prin lepuire a flancurilor danturii roților melcate realizate din oțel durificat prin nitrurare

4.1. Elemente generale.....	62
4.2. Standul experimental și aparatura utilizată.....	62
4.3. Regimurile de lucru utilizate.....	71
4.4. Caracteristicile soluției abrazive folosite	75
4.5. Rezultatele măsurătorilor privind rugozitatea	77
4.6. Concluzii și contribuții	80

Capitolul 5. Studiul tensiunilor care apar în timpul operației de lepuire

5.1 Elemente generale	82
5.2 Determinarea analitică a tensiunilor din flancurile dinților.....	83
5.3 Analiza FEM a tensiunilor din flancurile dinților	91
5.4 Concluzii și contribuții.....	94

Capitolul 6 Cercetări privind comportarea în funcționare a angrenajelor melcate frontale din oțel nitrurat

6.1. Elemente generale	96
6.1.1. Aspecte privind pata de contact.....	96
6.1.2. Interpretarea rezultatelor obținute.....	101
6.2. Determinarea temperaturii de lucru.....	106
6.2.1. Aspecte generale privind comportamentul termic.....	106
6.2.2. Interpretarea rezultatelor obținute	107
6.3. Determinarea nivelului de zgomot	113
6.3.1. Aspecte generale privind nivelul de zgomot	113
6.3.2. Interpretarea rezultatelor	116
6.4. Determinarea nivelului de vibrații	119
6.4.1. Aspecte generale privind nivelul de vibrații	119
6.4.2. Interpretarea rezultatelor	122
6.5. Concluzii și contribuții.....	124

Capitolul 7 Concluzii generale, contribuțiile lucrării, direcții de dezvoltare viitoare ale cercetării

7.1. Concluzii finale	127
7.2 Contribuțiile originale ale lucrării.....	128
7.3 Valorificarea rezultatelor	130
7.4 Perspective de dezvoltare a temei de cercetare	131

Bibliografie	132
--------------------	-----

Anexa 1 Desene de execuție a angrenajelor testate	139
---------------------------------------------------------	-----

Anexa 2 Fișe de măsurători rugozitate	143
---------------------------------------------	-----

Anexa 3.1. Breviarul de calcul a tensiunilor ISO 14512	149
--------------------------------------------------------------	-----

Anexa 3.2. Breviarul de calcul a tensiunilor STAS 13024-91	169
------------------------------------------------------------------	-----

Anexa 4 Terminologie	175
----------------------------	-----

CV

Articole publicate

Prefață

Scopul lucrării este de a demonstra posibilitatea de utilizare a tehnologiei de finisare prin lepuire cu carburi de siliciu a angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric din oțel durificat, precum și avantajele pe care le prezintă respectivul procedeu.

Autorul aduce mulțumiri tuturor celor care au sprijinit într-un fel realizarea acestei lucrări și în special conducătorului științific al tezei de doctorat domnului Prof. Dr. Ing. Vasile Boloș, care a contribuit hotărâtor la realizarea acestei teze sub toate aspectele.

Mulțumesc pentru sprijinul acordat la realizarea experimentului Departamentului de Inginerie Industrială și Management din cadrul Universității "Petru Maior" Târgu Mureș și în mod particular domnului Dr. Ing. Bogdan Bucur.

Pe această cale aduc mulțumiri Departamentului Ingineria Fabricației (TCM) din cadrul Universității Tehnice Cluj Napoca și în special domnului Prof. Acad. Dr. Ing. Csaba Gyenge pentru sugestiile făcute de-a lungul întregii durate a programului de realizare a tezei.

Mulțumesc familiei pentru sprijinul și răbdarea acordată.

Ion Gavrilă

Introducere

Această lucrare de doctorat, prin tema produsă, se încadrează în domeniul construcției și tehnologiei angrenajelor frontale. Lucrarea este structurată în 7 capitole desfășurate pe parcursul a 177 pagini, având: 32 ecuații matematice, 133 figuri și 155 referințe bibliografice și siteografice.

Capitolul I "Stadiul actual al cercetărilor legate de finisarea angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric" prezintă pe baza unei documentări bibliografice extinse, un studiu privind: particularitățile constructiv-funcționale ale angrenajelor melcate frontale, preocupările privind prelucrarea și finisarea danturii angrenajelor melcate frontale.

Capitolul II "Proiectarea geometrică a angrenajului melcat frontal cu melc cilindric" cuprinde un breviar de calcul al elementelor geometrice al angrenajelor melcate plane cu melc cilindric realizat în programul Mathcad 13.

Capitolul III "Cercetări privind tehnologia de execuție a angrenajului melcat frontal din oțel pentru nitrurare" prezintă pas cu pas etapele realizării roților melcate frontale folosite la experiment. În acest capitol au fost tratate chestiuni legate de: materialele, sculele și mașinile unelte folosite, execuția melcului cilindric și a roții melcate frontale și aspecte privind durificarea prin nitrurare gazoasă. În cadrul acestui capitol a fost realizat un studiu a posibilităților de control a roților melcate frontale cu ajutorul mașinilor de măsurat pe 3 axe.

În capitolul IV "Cercetări privind posibilitățile de finisare prin lepuire a flancurilor danturii roților melcate realizate din oțel durificat prin nitrurare" sunt prezentate elementele standului și aparatura utilizată pentru evaluarea comportamentului angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric durificate. În cadrul acestui capitol sunt prezentate regimurile de lucru utilizate pentru experiment precum și caracteristicile soluției abrazive folosite pentru lepuire.

Capitolul V "Studiul tensiunilor care apar în timpul operației de lepuire" cuprinde pe lângă determinarea analitică a tensiunilor din flancurile dinților și analiza FEM a tensiunilor din flancurile dinților.

Capitolul VI "Cercetări privind comportarea în funcționare a angrenajelor melcate frontale din oțel nitrurat" prezintă rezultatele măsurărilor efectuate în timpul experimentului în cea ce privește: pata de contact, comportamentul termic, nivelul de zgomot și nivelul de

vibrații.

Capitolul VII "Concluzii generale, contribuțiile lucrării, direcții de dezvoltare viitoare ale cercetării" sumarizează rezultatele obținute experimental și prezintă principale contribuții originale ale lucrării precum și direcțiile de cercetare viitoare.

Bibliografia cuprinde un număr de 155 denumiri bibliografice care au fost consultate în timpul cercetării realizate. Printre titlurile bibliografice se evidențiază 6 lucrări științifice proprii publicate la diferite conferințe științifice.

Teza cuprinde 4 anexe după cum urmează:

Anexa 1 cuprinde - Desenul tehnic de ansamblu Reductor melcat plan
- Desenul de execuție melc cilindric $Z=1$
- Desenul de execuție roată melcată frontală $Z=47$
- Asamblarea standului experimental

Anexa 2 cuprinde - Fișe de măsurători rugozitate înainte de lepuire
- Fișe de măsurători rugozitate după de lepuire
- Harta măsurătorilor (fișă tip necompletată)

Anexa 3 cuprinde - Breviar de calcul ISO 14512
- Breviar de calcul 13023-91

Anexa 4 cuprinde - Simboluri folosite-Gearing terminology (Română - engleză)

În cadrul tezei se prezintă un program experimental menit să determine comportarea angrenajelor melcate frontale realizate din oțel durificat în funcție de calitatea suprafeței flancurilor.

CAPITOLUL 1. Stadiul actual al cercetărilor legate de finisarea angrenajelor melcate frontale cu melc cilindric

În anul 1954 Oliver Saari (figura 1.5) brevetează angrenajul melcat spiroid, cu numerele 2.731.886 [90], 2.696.124 [91] și 2.696.125 [92], pentru firma Illinois Tool Works-Chicago ITW (SUA).

În momentul actual există numeroase preocupări, teoretice și experimentale, privind angrenajele melcate frontale pe plan național cât și internațional.

A fost realizat un studiu bibliografic al celor mai importante tehnologii existente în domeniul îmbunătățirii suprafeței danturilor angrenajelor melcate frontale: finisarea prin rectificare, modificarea geometriei prin rectificare cu freză disc asistată de CNC, corectarea topografiei flancului dintelui (crowning) și finisarea prin lepuire în mediu specific.

În momentul actual preocupările privind finisarea danturii angrenajelor melcate frontale se structurează după cum urmează:

- rectificarea melcilor pe mașini de rectificat clasice; (Ganșin [28])
- rectificarea melcilor cu piatră disc asistată de CNC, (I. Dudas de la Universitatea Miskolc Ungaria)[16], [17].
- finisarea roților plane prin rectificare cu ajutorul unui dispozitiv de rectificat F. Litvin (SUA) [53].
- finisarea electrochimică (Nikitin-[79], [80])
- finisarea angrenajului melc-roată melcată prin lepuire (Nelson-[77], [78])

Din studiul efectuat a rezultat faptul că în domeniul finisărilor roților melcate frontale preocupările colectivelor de cercetare sunt extrem de reduse și se referă la abordări strict teoretice. Se poate semnală ca singură propunere argumentată consistent și anume realizarea finisării roții melcate cu un dispozitiv cu capete rotative, propunere susținută de profesor dr. ing. F. Litvin (SUA)[53]. Cu privire la realizarea efectivă a acestui dispozitiv lipsesc datele necesare, el fiind prezentat doar ca posibilitate virtuală.

În urma parcurgerii etapei de documentare bibliografică s-a definit ca obiectiv principal al acestei teze stabilirea unei tehnologii de finisare a flancurilor elementelor componente a angrenajului melcat frontal cu melc cilindric din oțel prin operația de lepuire, care să aducă calitatea suprafeței la rugozități ce vor permite o funcționalitate cu frecări minime asigurând reducerea nivelului de zgomot și de vibrații.

Atingerea obiectivului principal presupune realizarea următoarelor obiective operaționale:

- realizarea unui angrenaj melcat frontal cu melc cilindric cu ambele componente din oțel durificat;
- identificarea și studierea unei soluții tehnologice de finisare convenabile din punct de vedere tehnic și economic pentru componentele angrenajului melcat frontal cu melc cilindric executate din oțel;
- realizarea unui stand experimental unde să poată să fie realizată finisarea angrenajelor executate;
- utilizarea metodei de finisare identificate pe modelele reale executate din oțel durificat;
- determinarea influenței calității suprafeței asupra nivelului de zgomot și de vibrații pentru angrenaje melcat frontale durificate prin nitrurare.

CAPITOLUL 2. Proiectarea geometrică a angrenajului melcat frontal cu melc cilindric

În cazul angrenajelor melcate clasice calcul elementelor geometrice este standardizat prin standardul STAS 13023-91 [140]. Din păcate în cazul angrenajelor melcate frontale acest calcul nu este standardizat. În literatura de specialitate calcul elementelor geometrice ale angrenajelor melcate frontale nu s-a bucurat de prea multă transparență. Calculul elementelor geometrice ale angrenajelor melcate plane au fost prezentate de B.W. Nelson [77], [78] și D.W. Dudley [18] având la bază informații furnizate de către firma ITW. V. Boloș, în lucrarea „Angrenaje melcate spiroide Danturarea roților plane” [7] publicată în 1999 prezintă acest calcul sub forma unui arbore algoritmic. Folosind elementele precizate mai sus, am realizat în programul Mathcad 13 un breviar de calcul al elementelor geometrice pentru angrenaje melcate plane cu melc cilindric folosind drept exemplu de calcul modelul folosit experimental.

Datele de intrare sunt următoarele: distanța dintre axe $A=56$ mm și raportul de transmisie i_{12} de 47. Distanță între axe A este aleasă din recomandările disponibile, acestea sunt urmate de o verificare.

Datele de intrare ale breviarului de calcul care definesc elementele geometrice a danturii: $z_1=1$ numărul de dinți ai melcului, $z_2=47$ numărul de dinți a roții plane, $\delta_1=0^\circ$ semiunghiul conului melcului, $\delta_2=90^\circ$ complementul semi-unghiului conului de contact, $\zeta_2=40^\circ$ unghiul poziției de contact, se alege un raport dimensional $q_{rv}=3,492$.

$$\zeta_1 = \left(\sqrt{\frac{\tan(\delta_1)^2}{\tan(\zeta_2)^2 - \tan(\delta_1)}} \right) = 0 \quad (4)$$

pasul elicei melcului

$$P_E = \frac{(2 * \pi * A_{pre} * \cos(\zeta_2) * q_{rv})}{(\sin(\zeta_1 + q_{rv} * \cos(\zeta_2)) * (i - q_{rv} * \sin(\zeta_2) * \cos(\zeta_1)))} = 7,862 \text{ mm} \quad (5)$$

distanța între axe finală se calculează cu următoarea formulă

$$A_{final} = \frac{(p_E * (\sin(\zeta_1) + q_{rrw} * \cos(\zeta_2)) * i - q_{rrw} * \sin(\zeta_2 * \cos(\zeta_1)))}{(2 * \pi * \cos(\zeta_2) * q_{rrw})} = 55,944 \text{ mm} \quad (6)$$

înălțimea profilului dintelui

$$h_{1AL} = \frac{0,6 * p_A * \sin(\delta_1)}{\frac{\sin(\alpha_{il})}{\cos(\alpha_{il} + \delta_1)} + \frac{\sin(\alpha_{el})}{\cos(\alpha_{el} - \delta_1)}} = 6,253 \text{ mm} \quad (7)$$

unde $\alpha_{ei}=30$ de grade, $\alpha_{il}=10$ de grade, înălțimea dintelui melcului perpendiculară pe generatoare n, fiind vorba despre un melc cilindric rezultatul este evident. înălțimea capului dintelui măsurată perpendicular pe generatoare.

$$h_{1GL} = h_{1AL} * \cos(\delta_1) = 6,253 \text{ mm} \quad (8)$$

diametru maxim al roții frontale

$$D_{e2} = 3,5 * A = 196 \text{ mm} \quad (9)$$

lungimea părții danturate a melcului

$$L = 0,781 * A = 43,736 \text{ mm} \quad (10)$$

$$a_1 = \frac{h_{1AL}}{2} = 3,126 \text{ mm} \quad (11)$$

$$\text{joc de fund } c_1 = 0,07 * p_A + 0,0508 = 0,601 \text{ mm} \quad (12)$$

grosimea dintelui

$$S_d = \frac{p_E}{2 * z_1} = 3,927 \text{ mm} \quad (13)$$

raza la fundul profilului

$$\rho_1 = 0,75 * c_1 = 0,45 \text{ mm} \quad (14)$$

După calcularea elementelor geometrice ale angrenajului melcat frontal se trece la realizarea desenelor de execuție a elementelor angrenajului: roată frontală respectiv melcul cilindric cum sunt redate în anexa 1 figurile A1.2 și A1.3.

Pentru desfășurarea cercetării privind finisarea angrenajelor melcate frontale am proiectat un angrenaj melcat frontal concret. Cu acest prilej am constatat lipsa unui standard specific precum și a unui program de calcul aferent. În literatură sunt date de proiectare diferite. Pentru acest lucru am realizat un breviar de calcul al elementelor geometrice ale angrenajului melcat frontal realizat în programul Mathcad 13 folosindu-se aranjarea și sintaxa specifică acestui program.

CAPITOLUL 3. Cercetări privind tehnologia de execuție a angrenajului melcat frontal din oțel pentru nitrurare

Pentru execuția angrenajului s-a folosit oțelul 42 MoCr 11 atât pentru roata melcată frontală cât și pentru pinion. Având o duritate măsurată a semifabricatelor încadrate în domeniul 20,3 HRC și 29,5 HRC pentru prelucrarea și danturarea lor a fost folosit oțelul rapid pentru scule Rp 2 care are duritatea de minim 60 HRC.

Semifabricatele au fost măsurate din punct de vedere a durității cu un aparat de măsurare Brinell-Vickers Briviscop WPM cu bilă de 2,5 mm și sarcină de 625N. Măsurarea s-a efectuat la Laboratorul de Încercări Mecanice a S.C. AZOMUREȘ S.A. Târgu Mureș. În urma măsurătorilor efectuate au fost determinată o duritate 285 HB (29,5 HRC) pentru pinion și de 228 HB (20,3 HRC) pentru semifabricatul roții frontale.

Diferențele de duritate dintre roată și pinion se explică prin diferența de diametru și din diferența de șarje. Semifabricatele melcului cilindric au fost danturate pe un strung universal SN400. Semifabricatul melcului cilindric a fost prelucrat conform desenului "Melc

cilindric $Z=1$ –ZA-2,5X10 anexa 1. S-a lucrat cu două avansuri: un avans de degroșare și un avans de finisare. Primul avans de degroșare era încadrat într-un domeniu de 0,5-0,6 mm/trecere. Avansul de degroșare fost aplicat la maxim 6-8 treceri. Avansul de finisare era încadrat într-un domeniu de 0,1-0,2 mm/trecere.

Danturarea unui singur semifabricat a durat 15 minute și nu a ridicat probleme din punct de vedere tehnologic.



Figura 1: Melc cilindric $Z=1$ realizat din oțel pentru tratamente termice

Danturarea roții melcate frontale s-a realizat pe o mașină de frezat dantura prin rostogolire FD-500 construită la Uzina Mecanică Cugir [132]. Această mașină unealtă are un caracter universal. Ea permite frezarea cu avans axial, tangențial și radial. Danturarea s-a executat în Laboratorul de mașini unelte al Universității Petru Maior din Târgu Mureș. Roțile au fost danturate cu avans tangențial. Semifabricatul execută o mișcare de rotație care corespunde raportului de transmisie între freza-melc și roată. La începerea danturării poziția port cuțitului este în afara semifabricatului. În această poziție se face reglarea adâncimii de danturare.

Avansul tangențial presupune 2 mișcări a sculei port cuțit: prima în jurul axei sale iar cea de a doua de avans tangențial.

S-a danturat cu două avansuri: un avans de degroșare și un avans de finisare. Primul avans de degroșare era încadrat într-un domeniu între 0,3-0,4 mm/trecere, domeniul recomandat este 0,38-2,54 mm. Avansul de degroșare a fost aplicat la maxim 2-3 treceri.



Figură 2: Danturarea unei roți melcate frontale pe o mașină de danturat prin rostogolire FD500

Danturarea cu avans de finisare s-a executat cu o adâncime de 0,1 mm/trecere,

domeniul recomandat fiind 0,13-0,38 mm. Durata de danturare a unui singur semifabricat a fost de 6 ore.

Cursa tangențială se execută până când portscula parcurge întreaga zonă danturată a roții. Durata unei treceri fiind de minim 20 minute.

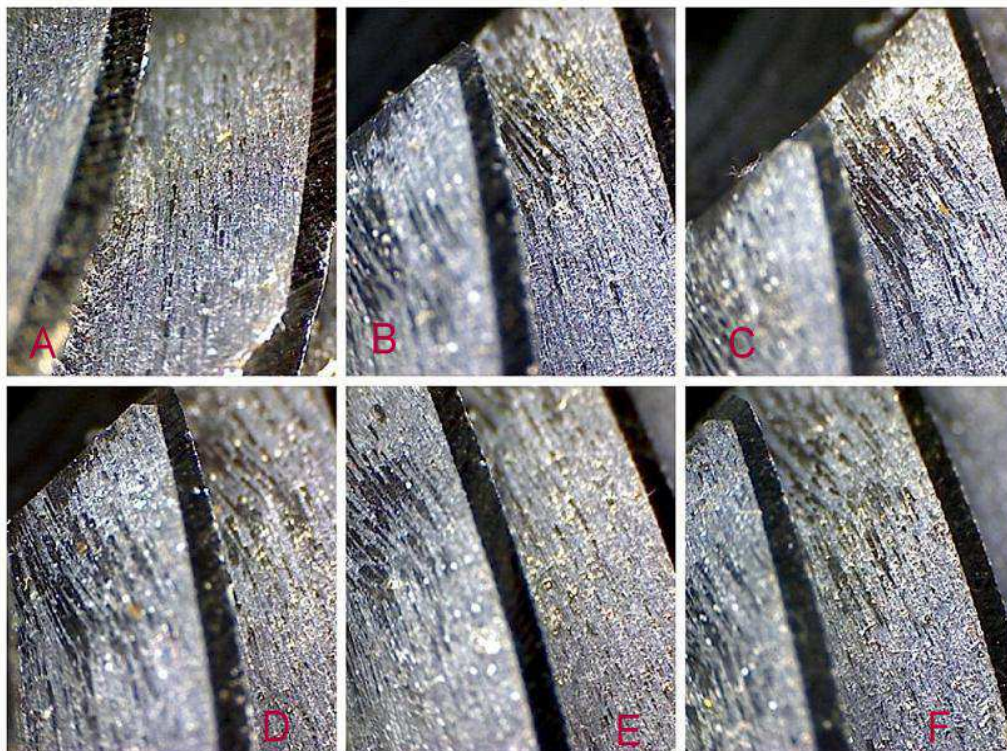


Figura 3: Detaliu cu suprafața de intrare și de ieșire a unei roți melcate frontale danturate cu ajutorul cuțitului zburător

Port-cuțitul și cuțitul rotativ au fost realizate din oțel rapid de scule Rp 2 STAS 7382-80. Materialul folosit pentru cuțitele rotative a fost călit conform indicațiilor STAS 7382-80 până la 1250°C-1300°C urmat de o răcire în ulei obținându-se o duritate de 65 HRC.

O problemă specifică danturării cu cuțit zburător, datorată contactului punctual pe care acesta îl are cu semifabricatul, este apariția de zgârieturi mai adânci pe zona de intrare și de ieșire a danturii. Acest fenomen se datorează în parte flambajului port-cuțitului, cât și faptului că semifabricatul roți are tendința să se rotească în sensul de rotație a cuțitului în timpul frezării. Tendința de rotire a semifabricatului coroborat cu strângerea pe dorn și fixarea prin gaura de fixare a semifabricatului conduc la apariția unui moment de răsucire.

Cu cât brațul forței de răsucire este mai mare, adică cu cât danturarea este executată mai spre periferia roții dințate, cu atât momentul de răsucire este mai mare, fapt care duce la apariția unei mișcări relative dintre masa rotativă a mașini unelte și semifabricat. La o danturare pur teoretică acest lucru nu este prezent. În mod real fixarea semifabricatului de masa rotativă nu este perfectă, acest fapt se datorează atât ajustajului dintre știftul de fixare și gaura de fixare care este liber (nu poate fi realizat cu strângere din rațiuni tehnologice) cât și strângerii pe dorn.

Același fenomen apare și pe zona de ieșire din danturare, dar nu este atât de vizibil. (figura 3 a primul instantaneu). În figura 3 se prezintă câteva imagini ale acestor zone luate cu ajutorul microscopului cu cameră digitală Digimicro 2.0 Scale [131].

Încălzirea pentru tratamentul termic de niturare gazoasă a durat 14 ore, a fost urmată de o răcire lentă controlată de 8 ore. Adâncimea stratului niturat este între 0,35 și 0,45 mm.

Duritatea măsurată de către executantul tratamentului termic respectiv în laboratorul de măsurări al firmei DÜRKOPP ADLER S.R.L. din Sângeorgiu de Mureș, a fost următoare:

- duritatea roții melcate frontale 570 HV1;
- duritatea melc cilindric 855 HV1.

Comparând rezultatele obținute după durificare cu cele obținute înainte de durificare, observăm o creștere a durității stratului superficial a roții melcate frontale de la 228 HB (20,3 HRC) la 570 HV1 (53 HRC) cea ce reprezintă o creștere cu 130%. Pentru melcul cilindric creșterea durității stratului superficial este de la 285 HB (29,5 HRC) la 855 HV1 (65 HRC) cea reprezintă o creștere de 120%.

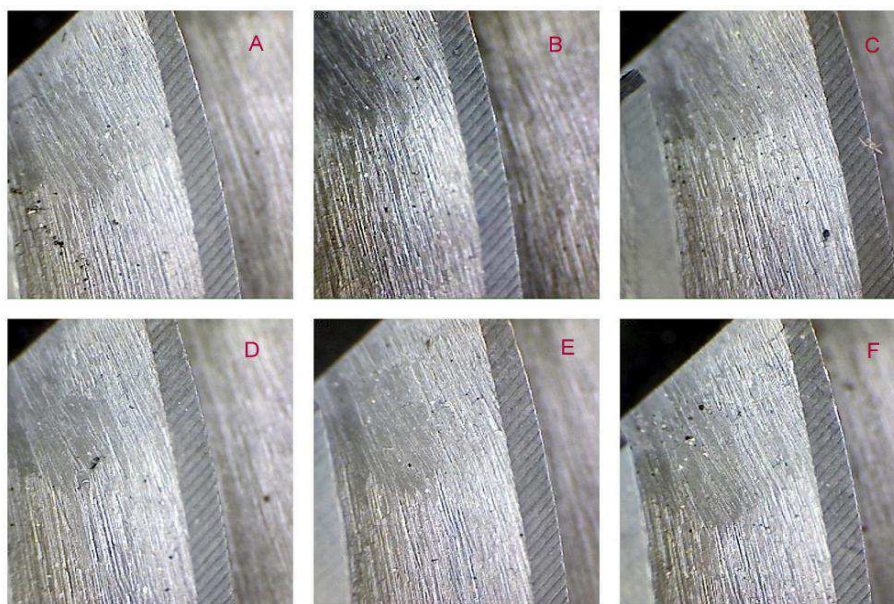


Figura 4: Detaliu cu suprafața de intrare și de ieșire a unei roți melcate frontale nitrurate

Se observă o creștere semnificativă a durității stratului superficial, cu toate acestea există o corelație între duritatea miezului și cea a stratului pentru preluarea tensiunilor de contact între cele două staturi.

În legătură cu apariția zgârieturilor pe zona de intrare și de ieșire în urma danturării, chestiune dezvoltată în subcapitolul anterior, prezint aceste zone după nitrurare și după acoperire anti-corozivă cu săruri. Se observă o relativă acoperire a golurilor dar o retenție a creștelor micro-zgârieturilor.

Problema principală în cazul danturilor nestandardizate sau a angrenajelor experimentale în regim de unicat este conducerea elementului palpator pe suprafața controlată. De aceea este necesară dezvoltarea unei metode de control a angrenajelor experimentale specifice.

În cadrul acestei lucrări se prezintă o metodă de control care presupune folosirea unei mașini de măsurat în 3 coordonate. Echipamentele de măsurat folosite pentru dezvoltarea acestei metode sunt: Zeiss Vista produsă de firma Zeiss și Ghilbi Thrax (cu sistem de măsurare Quindos) produsă de Brown Shape DEA. Ambele mașini au palpatorul sub formă de peniță, care face posibilă atingerea zonei de fund a dintelui.

Etapetele metodei de control sunt următoarele:

- crearea unui model virtual CAD,
- determinarea punctelor în coordonate carteziene de pe suprafața generată CAD cu

- ajutorul comenzii ID point,
- măsurarea punctelor de pe suprafața roții melcate plane cu mașina de măsurat în 3 coordonate,
- compararea punctelor obținute prin măsurare cu cele obținute pe suprafața virtuală de referință,
- crearea unei suprafețe virtuale prin comanda mesh și compararea acestei cu suprafața de referință.

Avantajele acestei metode sunt flexibilitatea și precizia fapt care o face ideală pentru domeniul experimental.

În urma desfășurării etapei de pregătire a roților și melcilor angrenajului melcat frontal necesare programului experimental care să studieze procesul de finisare se pot formula următoarele concluzii principale:

- prelucrarea danturii roților melcate frontale cu ajutorul cuțitului rotativ nu ridică probleme deosebite din punct de vedere tehnologic;
- danturarea roților din oțel cu ajutorul cuțitului rotativ este o variantă satisfăcătoare din punct de vedere economic, a preciziei dimensionale și a calității suprafeței obținute pentru unicate și serii foarte mici;
- rugozitatea R_a a flancurilor se încadrează în jurul valori de $1,6 \mu\text{m}$ fiind satisfăcătoare din punct de vedere tehnologic;
- dezavantajul principal al prelucrării cu ajutorul cuțitului rotativ față de prelucrarea cu freză melc îl reprezintă durata mare pe care o necesită danturarea unei roții, aceasta fiind de ordinul a mai multor ore;
- roțile melcate frontale realizate nu au suferit deformări ale danturii în urma tratamentului termic de niturare.

CAPITOLUL 4. Cercetări privind posibilitățile de finisare prin leuire a flancurilor danturii roților melcate realizate din oțel durificat prin niturare.

Experimentul s-a desfășurat în laboratorul de Organe de Mașini a Universității Petru Maior Târgu Mureș.

Principalele elemente ale standului sunt:

1. motor electric trifazic
2. curea de transmisie trapezoidală îngustă
3. fulie pentru curea trapezoidală îngustă $\varnothing 18$.
4. carcasă reductor melcat.

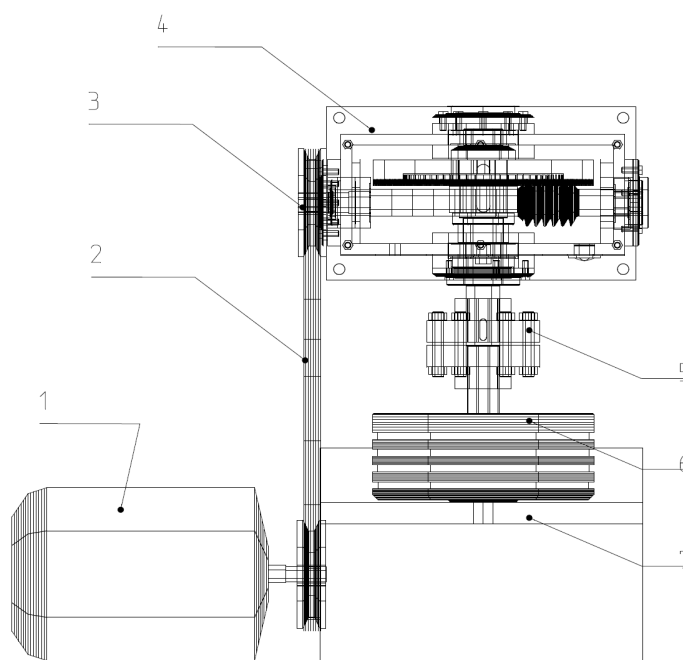


Figura 5: Stand experimental proiectat (schema de principiu) [27]

5. cuplaj elastic cu bolțuri
6. frână electro-magnetică cu particule fat-120 [134], [146].
7. suportul frânei electro-magnetice fat-120

În cadrul experimentului au fost folosite următoarele instrumente de măsură și înregistrare:

Vibrometru SPM VIB-10 [138], [148]. Este un aparat profesional gândit pentru diagnoză și prevenție. Acest instrument este conform cu recomandările ISO și BS. Acest aparat este capabil să detecteze și schimbările minore din condițiile de operare ale dispozitivului măsurat prin măsurarea nivelului de vibrații general.

Alegerea locului de măsurare a vibrațiilor trebuie să țină seama de principiile propagării vibrațiilor în medii metalice. Între locul de măsurare și sursa vibrațiilor trebuie aleasă distanța minimă posibilă. Între locul de măsurare și sursa vibrațiilor să nu intervină medii de separație cum ar fi: prinderi cu șuruburi, garnituri sau intruziuni de alte materiale (insertii sau placări). Măsurătorile au fost executate pe ambele părți ale carcasei reductorului. Partea denumită A situată lângă capacul mare $\varnothing 93 \times 27$ (CM- $\varnothing 93 \times 27$ vezi anexa 1). Partea denumită B a fost situată lângă capacul mare găurit $\varnothing 93 \times 17$ (CMG- $\varnothing 93 \times 27$).

Sonometru digital VOLTCRAFT SL-50 [133], [147] Sonometru digital este un aparat digital de măsurare a nivelului undelor sonore în decibeli (dB). Măsurătorile și unitățile de măsură/cifrele sunt afișate pe un ecran LCD mare cu patru digiți. Semnalul este măsurat în mod liniar (caracteristică de frecvență tip) cu viteză de măsurare de 125 mps.



Figura 6: Măsurarea nivelului de sunet cu sonometru SL-50 în zona B

Microscop cu cameră digitală DNT Digimicro 2.0 scale [131] Este un microscop destinat aplicațiilor profesionale care are posibilitatea de mărire a imaginii de maxim 200 ori.

Pentru ca un experiment să fie relevant este necesar să simuleze cât mai fidel o tehnologie. De asemenea este necesară crearea unei baze de comparație și de evaluare cât mai complete. Pentru atingerea acestui deziderat toate fazele au fost executate în aceeași carcasă, folosindu-se aceeași forță de frânare presetată de 12 Nm și aceeași timp de funcționare.

Experimentul a cuprins 3 faze principale:

- faza **de stabilire a stadiului inițial și rodaj** folosind lichid de ungere uleiul mineral de transmisie T90
- faza **de finisare**
 - **lepuire I** folosindu-se lichid de lepuire cu următoarea compoziție: silicat de sodiu și carbură de siliciu 20% (5:1)
 - **lepuire II** folosindu-se lichid de lepuire cu următoarea compoziție: silicat de sodiu, carbură de siliciu 25% și AEROSIL 3,6 (4:1:0,3)
- faza **de evaluare** folosind lichid de ungere uleiul mineral de transmisie T90.

Fiecare fază a experimentului a durat circa 1 zi (8-10 ore lucrătoare).

Cea mai apropiată de soluția de lepuit concepută este soluția patentată de Schwen-BASF substanță abrazivă (oxid de fier, cuarț, corundum, carbură de siliciu, carbură de bor, particule de diamant), agent tixotrop (silicați Aerosil), polimer oxid alkylen solubil (sunt poliglicoli a oxidului de etilenă, oxidului de propilenă sau oxidului de butan). Cantitatea de material abraziv este undeva între 2 și 50 procente din greutatea soluției.[96] Diferențele sunt prea evidente ca să le mai accentuăm.

Soluția de lepuire I: soluție de silicat de sodiu (water glass) și carbură de siliciu 20% (5:1) nu a decantat complet deși după circa 3 zile (72 de ore) de repaus se poate observa o separație a părților mai grele în partea inferioară a recipientului. Cu toate acestea în suspensie au rămas elemente abrazive de culoare negru închis ceea ce duce la concluzia că soluția nu precipită și nu decantează decât parțial. Din punct de vedere tehnologic după agitarea vasului soluția s-a uniformizat imediat. În timpul lepuirii nu a fost înregistrată decantarea sau precipitarea soluției. Aspectul soluției a rămas uniform pe tot timpul experimentului.

În timpul experimentului nu a fost observate cristalizări ale soluției de lepuire sau formarea de depozite de elemente abrazive.

Soluția de lepuire II având următoarea compoziție: silicat de sodiu, carbură de siliciu 25% și AEROSIL 3,6 (4:1:0,3). Au fost parcurși aceiași pași ca și pentru prima soluție în plus a fost adăugat un element trixotrop. Agentul tixotrop folosit poartă denumirea comercială de Degussa Aerosil 380 fiind un oxid de siliciu SiO_2 hidrosopic.

Agentul tixotrop are următoarele caracteristici: stare pudră solidă, nu are miros, nu are gust, culoare albă, greutate specifică 2,2, solubil în apă, aria specifică BET 380 m^2 și pH – 3,7-4,7 [137]. Acest component a fost adăugat pentru a crește vâscozitatea soluției și gradul de aderență. Substanța pe lângă calitățile tixotropice are și rolul de a îmbunătăți calitățile adezive. Nu reacționează cu nici un constituent.

Pentru a evalua rugozitatea pe întreaga suprafață a flancului și în timpul danturării s-a folosit metoda indirectă a comparării vizuale față de un etalon (rugotester). Această metodă este mai puțin precisă dar este larg răspândită în industrie. Pentru a implementa această metodă este necesară parcurgerea următorilor pași: fotografierea suprafeței și compararea cu o suprafață a cărei rugozitatea a fost măsurată direct cu rugozimetru etalonat. Interpretarea rezultatelor depinde de experiența operatorului. Mostrele au fost măsurate cu aparatului Taylor Hobson Surtronic în cadrul laboratorului de măsurări a S.C. CIE MATRICON S.A. Laboratorul și echipamentele sunt verificate metrologic, personalul care a efectuat măsurarea este autorizat. Pentru fiecare mostră în parte au fost emise buletine de măsurare.

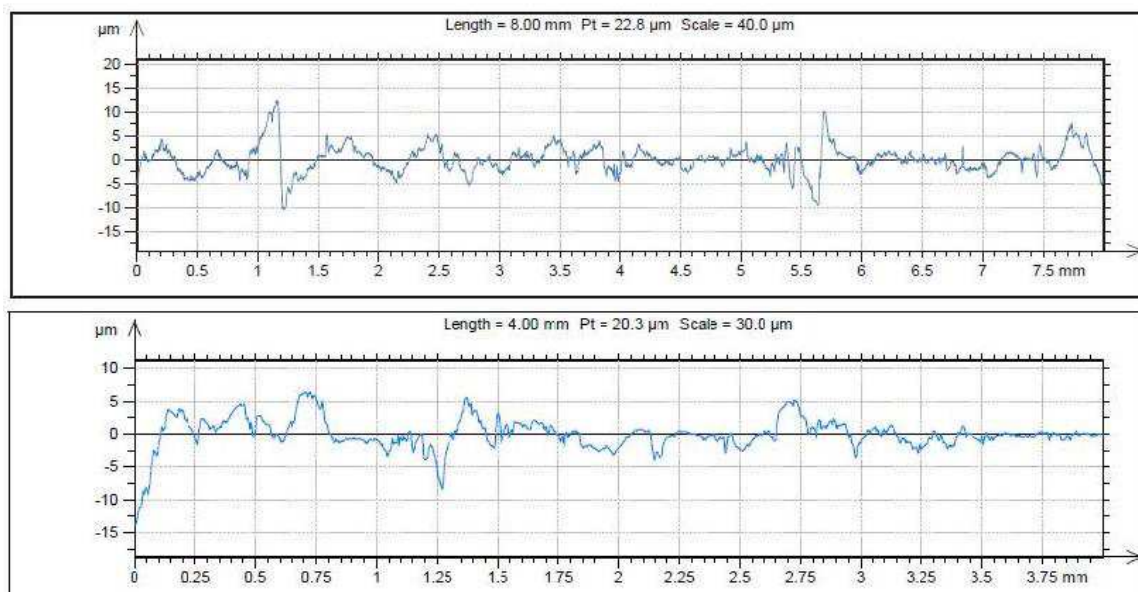
În urma investigațiilor realizate asupra suprafeței flancurilor și prin compararea cu rugotestul concluzionăm scăderea rugozității pe întregul flanc între valorile determinate prin măsurare cu rugozimetru.

În figura 7 se prezintă pentru exemplificare diagrama zonei de măsurate înainte și după lepuire măsurate direct cu rugozimetru. Rugozitatea medie R_a după durificare și înainte de lepuire a fost de 1,6 μm . Rugozitatea medie după lepuire a fost de 1,4 μm . Din figura 7 se observă faptul că vârfulurile care înainte de lepuire aveau o valoare de 10 μm , după lepuirea nu depășeau 6 μm , ceea ce conduce la concluzia că în urma lepuirii s-a produs o aplatizare a vârfulurilor asperităților.

Informațiile despre rugozitate au fost obținute prin folosirea a două metode: măsurare directă cu rugozimetru și indirectă prin comparare cu un rugotest special realizat.

În urma procesului de lepuire aplicat angrenajului melcat frontal executat din oțel durificat au rezultat următoarele concluzii:

- s-a observat aplatizarea vârfurilor microasperităților acesta fiind și scopul finisării suprafeței flancului.
- folosirea soluției de lepuit, concepute de autor, a fost o reușită. Soluția de lepuit a finisat suprafața durificată a flancului și nu s-au observat probleme deosebite în folosirea



Figură 7: Diagrama măsurării rugozității înainte de lepuire (sus) și după lepuire (jos)

acesteia;

- îndepărtarea soluției de lepuit de pe suprafața prelucrată s-a făcut fără dificultate;
- prin operația de lepuire se poate asigura o îmbunătățire a rugozității flancurilor (cu circa 12,5 %).
- în timpul experimentului conceput și realizat, cu ajutorul instrumentelor de măsură descrise în acest capitol, a fost posibilă: monitorizarea temperaturii, măsurarea petei de contact, măsurarea nivelului de vibrații și de zgomot;
- datorită geometriei particulare a angrenajului melcat frontal nu este posibilă determinarea rugozității prin măsurare cu rugozimetru decât în zonele unde are acces palpatorul;
- pentru evaluarea prin comparare a rugozității (metodă indirectă) pentru toate zonele flancului a fost necesară realizarea unui set de etaloane de rugozitate specifice operațiilor utilizate la prelucrarea flancurilor;

CAPITOLUL 5. Studiul tensiunilor care apar în timpul operației de lepuire

Determinarea tensiunilor apărute pe flancul dintelui conform cu standardele internaționale ISO a fost realizată prin analiza standardului ISO 14521.2 2006 [139], din acesta reiese că metodele și formulele prezentate se pot folosi și pentru alte tipuri de geometrii, precum și pentru alte tipuri de materiale. Toate exemplele numerice folosite corespund cu tipodimensiunea și modelul folosit ulterior la experimentele efectuate pe standul de încercări.

Factorul de frecare

Coeficientul de frecare [139], determinat cu relația

$$\mu_{OT} = 0,034 + 0,015 * \frac{1}{(v_g + 0,19)^{0,97}} = 0,038, \quad (18)$$

este un coeficient de bază al angrenajului standard, fiind funcție de tipul de ulei folosit.

Coeficientul de rugozitate i-a în considerare influența pe care o are rugozitatea flancurilor melcului și flancului roții pe care o are asupra coeficientului de frecare [139]

$$\mu_{zm} = \mu_{OT} * Y_S * Y_G * Y_W * Y_R = 0,052, \quad (19)$$

în care Y_S reprezintă factor mărime; Y_G – factor geometric; Y_W – factor material; Y_R – factor rugozitate.

Tensiunea medie la *solicitarea de contact* a flancurilor dinților roții melcate se determină cu relația [139]

$$\sigma_{Hm} = \left| \frac{4}{\pi} * \left(\frac{P_{m1} * T_2 * E_{red}}{a^3} \right)^{0,5} \right| \text{ și } \sigma_{Hm} = 50,983 \text{ MPa} \quad (20)$$

(pentru modelul ales).

Tensiunea limită de contact se determină cu relația [139]

$$\sigma_{HG} = \sigma_{HlimT} * Z_h * Z_v * Z_s * Z_u * Z_{oil}, \quad (21)$$

unde σ_{HlimT} este valoarea determinată în funcție de material și poate fi asimilată cu valoare R_{p02} - limita de elasticitate convențională la 0,2% la temperatura convențională (N/mm²), Z coeficienți în funcție de durata de viață (h), viteza de alunecare (v), de mărime (z), raportul de transmisie (u), de lubrifiere (oil), $\sigma_{HG} = 361,545$ MPa.

Tensiunea limită de încovoiere la piciorul dintelui se determină cu relația [139]

$$\tau_F = \frac{F_{m2}}{b_{2Hmax} * m_{x1}} * Y_\epsilon * Y_F * Y_\gamma * Y_K, \quad \tau_F = 118,533 \text{ MPa}, \quad (24)$$

în care b_{2Hmax} este lățimea maximă a dintelui, Y factor de corecție în funcție: de acoperire (ϵ), de forma (F), factor de legătură (γ), de grosimea corpului roții (K) (ISO 14512-2006-12.1.- formula 147 [139]).

Limita de rezistență $\tau_{FLimT} = 125$ MPa este aleasă în funcție de material [139].

S-a făcut o *verificare suplimentară* cu ajutorul algoritmului de calcul a încărcării suprafeței dintelui realizate conform cu STAS 13024-91 „Calcul de rezistență a angrenajelor cilindrice melcate”. Verificarea a fost realizată prin scrierea unui breviar de calcul în programul Mathcad 13 (vezi anexa 3.2). În rezultatele obținute în breviarul de calcul conform ISO 14512-2006 și breviarul de calcul conform STAS 13024-91 nu au fost înregistrate diferențe sensibile.

Pentru a putea compara rezultatele obținute urmând standardele internaționale cu cele date de standardele americane, am realizat un calcul și după standardele AGMA. Rezultatele obținute au fost asemănătoare.

Simularea realizată cu ajutorul programului ANSYS 10 presupune ca profilul dintelui să fie un element plan și asimetric, cum este cazul profilului dintelui angrenajului melcat analizat. Fiecare element de bază discretizat are: plasticitate, limită de rupere, capacitate de preluare a eforturilor, rigiditate, deformare și capacitate de deformare [130].

Conform analizei realizate prin FEM rezultă o distribuție a tensiunilor pe suprafața dintelui de 64,686 MPa. Distribuția tensiunilor pe suprafață este prezentată în figura 5.10, aceasta prezintă o zonă de concentrare a tensiunilor în jurul razelor de racordare până la valoarea limita de 357,005 MPa (comparativ cu 361 MPa calculată cu ajutorul standardelor

europene). Diferența dintre valorile obținute prin calcul și cele obținute prin analiza FEM se explică prin factorii de corecție pe care standardele le folosesc. Acești factori sunt obținuți pe cale empirică și au la bază practica tehnologică. Analiza prin FEM se bazează numai pe o abordare strict geometrică și analitică a problemei ignorând aspectele tehnologice.

Pentru eforturile care se generează la operația de finisare prin lepuire nu există expresii teoretice satisfăcătoare. Se pot menționa existența unor abordări pentru operații de finisare prin lepuire [43], [112], [117] dar pentru alte cazuri decât angrenajul melcat frontal. Lepuirea fiind un proces de mare complexitate, simularea ei are la bază numeroase premise simplificatoare ceea ce conduce la un grad ridicat de aproximare.

Alegerea unui procedeu de finisare pentru suprafețele tratate termic comportă numeroase necunoscute datorate complexității proceselor implicate.

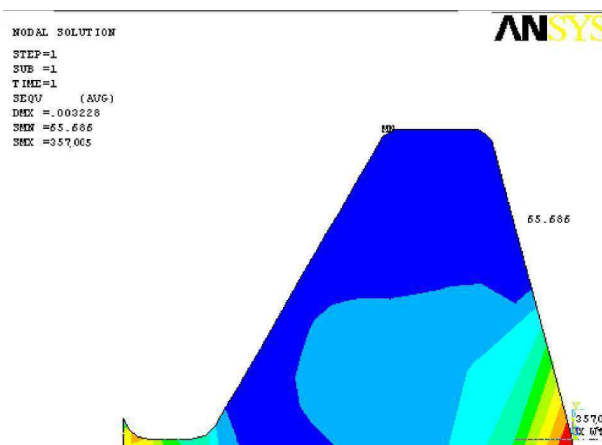


Figura 8: Vizualizarea rezultatelor analizei FEA a încărcărilor din timpul angrenării

Standardul ISO 14521.2:2006 (Gear Calculation of load capacity of worm gears- Calcul capacității de încărcare a angrenajelor melcate) poate fi folosit, prin aproximări acceptabile și pentru a determina încărcarea angrenajului melcat plan folosindu-se date geometrice specifice acestui tip de angrenaj.

Standardul ISO 14521.2-2006 are la bază doar experimente efectuate pe melci (de tip evolventic) executați din 16MnCr 5 durificați. Pentru celelalte materiale și pentru celelalte tipuri de profiluri s-a folosit principiul similitudinii. Această abordare lasă loc completării și modificării ulterioare a acestui standard pe măsură ce se vor executa experimente și măsurători și cu alte materiale sau cu alte profile ale dintelui.

Angrenarea roților melcate frontale cu melc cilindric poate fi simulată prin introducerea unei solicitări specifice în algoritmul de calcul a încărcărilor și apoi analiza FEA la nivelul secțiunii plane a profilului dintelui. Metoda elementului finit este un instrument capabil să simuleze solicitările apărute la angrenarea și finisarea roților melcate frontale. Sunt prezentate toate etapele simulării. Această simularea poate fi folosită și pentru alte dimensiuni ale angrenajului melcat frontal.

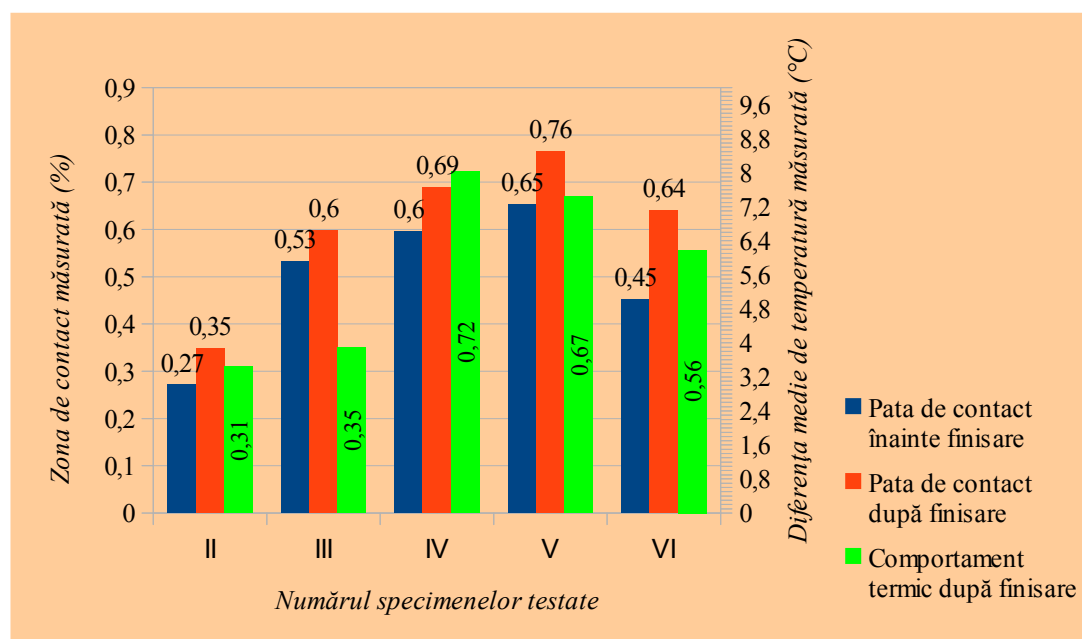
CAPITOLUL 6. Cercetări privind comportarea în funcționare a angrenajelor melcate frontale din oțel nitrurat.

În urma analizei și prelucrării datelor obținute în urma experimentului, se prezintă în tabelul 1. valorile medii a petei de contact precum și creșterea procentuală obținută pentru fiecare specimen prelucrat.

Flancul de 10°	Specimen	Înainte de finisare	După finisare	Creștere procentuală %	Flancul de 30°	Înainte de finisare	După finisare	Creștere procentuală %
	II	0,27	0,35	0,29		0,21	0,3	0,4
III	0,53	0,6	0,12	0,55	0,61	0,13		
IV	0,6	0,69	0,16	0,67	0,76	0,13		
V	0,65	0,76	0,17	0,55	0,65	0,19		
VI	0,45	0,64	0,41	0,44	0,58	0,31		
medie	0,5	0,61	0,23	0,48	0,58	0,23		

Tabel 1: Rezultatele experimentului în cea ce privește zona de contact prezentate într-o comparație procentuală înainte și după finisare.

Rezultatele obținute experimental, confirmă corelația directă dintre pata de contact și comportamentul termic al angrenajului. Prin comportament termic înțelegem diferența dintre



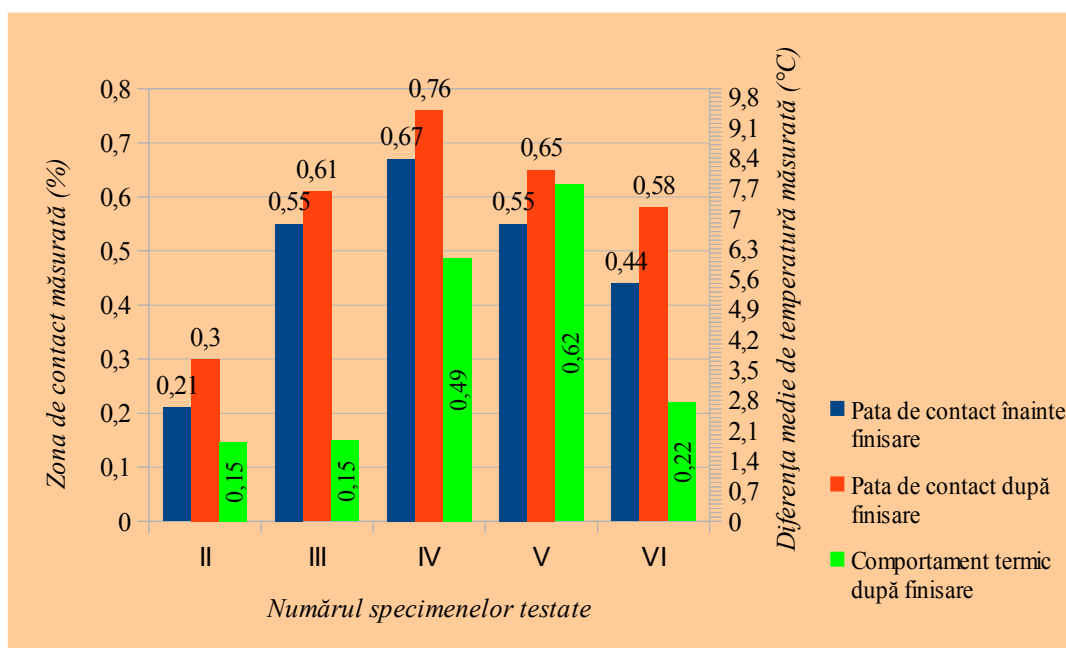
Figură 9.: Media aritmetică a petei de contact înainte și după leuire pentru sensul de rotație flanc portant de 10 grade pentru toate roțile testate comparativ cu comportamentul termic după finisare

temperatura din interiorul băii de ulei și temperatura mediului înconjurător.

Temperatura băii de ulei este considerată singulară (a fost măsurată cu un singur senzor de temperatură scufundat în baia de ulei poziționat central în carcasă).

Treapta de încărcare a angrenajului a fost constantă pe tot parcursul experimentului, frâna cu pulberi magnetice fiind setată să furnizeze o forță de frânare de 12 Nm. Graficele din figurile 9 și 10 sunt grafice comparative privind zona de contact medie (media aritmetică) produsă de roțile testate în timpul experimentului: înainte de finisare (albastru) și după finisare (roșu) și comportamentul termic după finisare (verde). Din graficele din figurile 9 și 10 se desprind următoarele observații:

- liniile petei de contact atât înainte cât și după finisare urmează aceeași tendințe ca liniile comportamentului termic;
- în cazul roții III angrenare pe flancul portant de 30 de grade se observă o ușoară



Figură 10.: Media aritmetică a petei de contact înainte și după leuire pentru sensul de rotație flanc portant de 30 grade pentru toate roțile testate comparativ comportamentul termic după finisare

distorsiune a comportamentului termic față de pata de contact;

- zona de contact medie (media aritmetică) pentru speciunile testate înainte de finisare este de 50% pentru angrenarea pe flancul portant de 10 de grade și respectiv de 48% pentru angrenarea pe flancul portant de 30 de grade. Zona de contact medie pentru speciunile testate după finisare este de 61% pentru angrenarea pe flancul portant de 10 de grade și respectiv de 58% pentru angrenarea pe flancul portant de 30 de grade;
- din grafice se observă o creștere semnificativă a zonei de contact după finisare pentru toate speciunile testate;
- distribuția zonelor de contact este cu mici diferențe identică pentru angrenarea pe flancul portant de 10 grade, respectiv de 30 de grade.

Determinarea temperaturii de lucru Comportamentul termic mediu măsurat în timpul experimentului desfășurat a fost înregistrat în tabelul 2.

Flancul de 10°	Specimen	Înainte de finisare °C	După finisare °C	ÎCT (%)	Flancul de 30°	Înainte de finisare °C	După finisare °C	ÎCT (%)
	II	4,8	3,1	0,35		2	1,47	0,27
III	4,8	3,5	0,27	2	1,5	0,25		
IV	8,6	7,23	0,16	5,57	4,87	0,13		
V	8,23	6,7	0,19	7,47	6,23	0,17		
VI	6,7	5,57	0,17	3,07	2,2	0,28		
medie	6,63	5,22	0,23	4,02	3,25	0,22		

Tabel 2: Rezultatele experimentului în cea ce privește diferența medie dintre temperatura băii de ulei și temperatura mediului exterior într-o comparație înainte și după finisare

Se cunoaște relația directă dintre pierderea de putere și temperatura dezvoltată la frecare, de aici demonstrația experimentală a faptului că în sensul de rotație unde flancul portant are 10 grade angrenajul este mai inefficient din punct de vedere a puterii transmise.

Graficele din figurile 11 și 12 sunt grafice comparative privind diferența medie dintre temperatura băii de ulei și temperatura mediului exterior produsă de roțile frontale melcate testate în timpul experimentului: înainte de finisare (linie albastră) și după finisare (linie roșie)

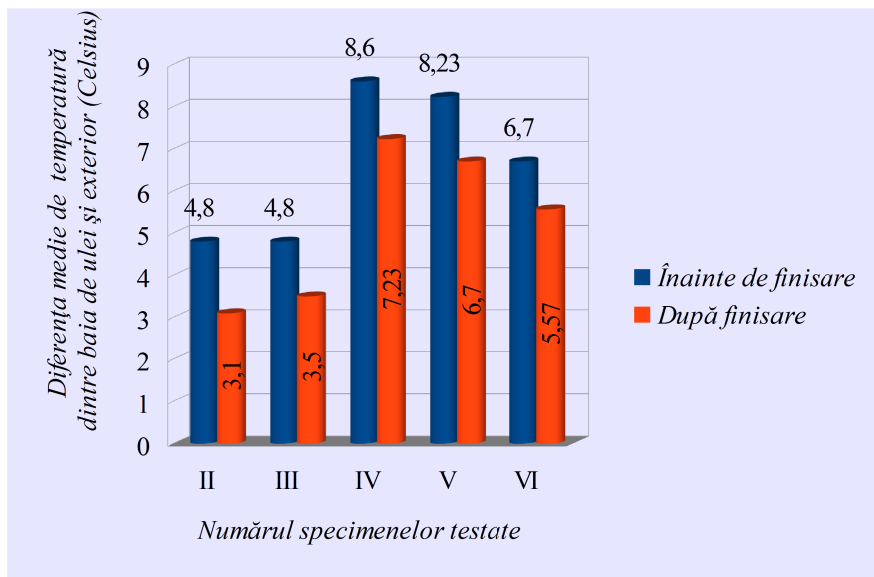


Figura 11: Diferența de temperatură medie dintre baia de ulei și exterior măsurată înainte de lepuire (linie albastră) și după lepuire (linie roșie) a roților (flancul portant de 10 grade)

Din grafice se observă o scădere a diferenței dintre temperatura băii de ulei și cea a mediului exterior după finisare pentru toate speciimenele testate.

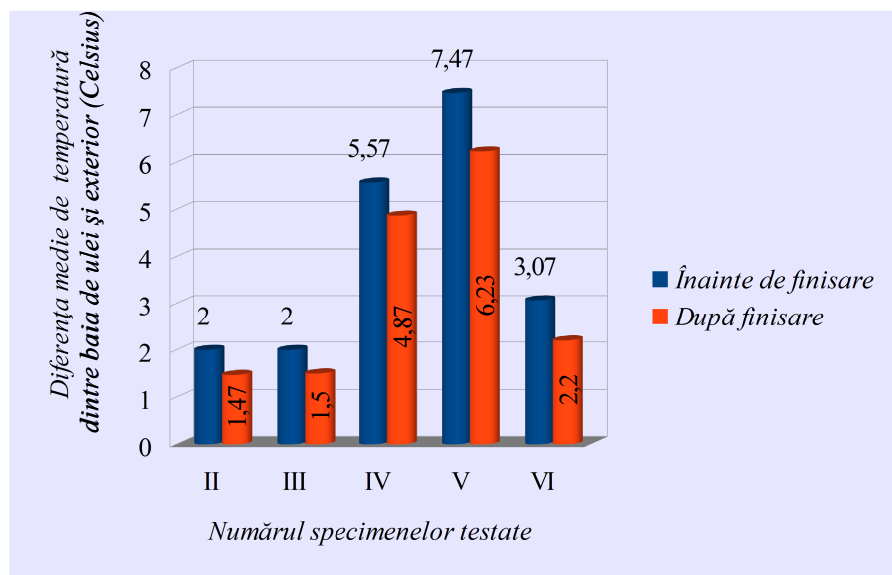


Figura 12: Diferența de temperatură medie dintre baia de ulei și exterior măsurată înainte de lepuire (linie albastră) și după lepuire (linie roșie) a roților (flancul portant de 30 grade)

În urma investigațiilor efectuate am observat o corelație dintre valoarea creșterii zonei de contact și îmbunătățirea comportamentului termic al angrenajului.

Prin îmbunătățirea comportamentului termic înțelegem scăderea procentuală dintre diferența medie dintre baia de ulei și exterior înainte și după finisare.

Pentru definirea comportamentului în funcționare propunem introducerea parametrilor:

- Creșterea zonei de contact (CPC) cu următoarea formulă

$$CPC = \frac{(PC_{dl} - PC_{il})}{PC_{il}} \quad (30)$$

unde PC_{dl} este pata de contact măsurată după finisare iar PC_{il} este pata de contact măsurată înainte de lepuire.

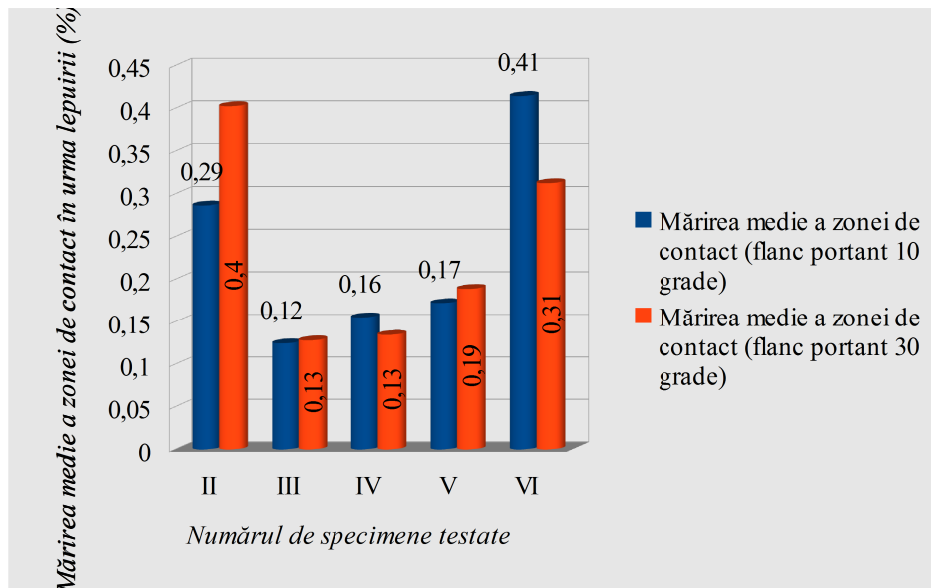


Figura 13 : Creșterea petei de contact (CPC) pentru angrenajele testate

2. Îmbunătățirea comportamentului termic (ICT) are următoarea formulă:

$$\hat{ICT} = \frac{(\Delta T_{il} - \Delta T_{dl})}{\Delta T_{il}} \quad (31)$$

unde ΔT_{il} —diferența medie dintre temperatura băii de ulei și exterior înainte de lepuire, ΔT_{dl} —diferența medie dintre temperatura băii de ulei și exterior după lepuire de lepuire. Se prezintă comparativ în graficul din figura 13 creșterea zonei de contact (CPC).

În urma experimentului se pot trage câteva concluzii în cea ce privește comportamentul termic:

- finisarea a dus la scăderea temperaturii în baia de ulei pentru ambele sensuri de angrenare cel cu flancul portant de 10 grade, respectiv cel de 30 de grade;
- angrenarea roților melcate frontale produse din oțel durificat cu flancul portant de 10 grade produce mai multă căldură decât atunci când angrenarea are loc cu flancul de 30 de grade;
- în urma finisării angrenajului comportamentul termic a fost îmbunătățit, diferența medie dintre temperatura băi de ulei și temperatura mediului exterior a scăzut cu 1,61 grade Celsius pentru sensul de rotație a flancului de 10 de grade și cu 0,95 grade Celsius pentru sensul de rotație a flancului portant de 30 de grade;
- creșterea zonei de contact și îmbunătățirea comportamentului termic sunt doi indicatori care sunt în relație directă pentru toate speci­mele testate;

Determinarea nivelului de zgomot . În tabelul 3 sunt prezentate: nivelul de zgomot mediu înainte și după lepuire precum și scăderea procentuală a nivelului de zgomot înregistrată pentru toate roțile melcate frontale supuse experimentului:

Flancul de 10°	Specimen	Înainte de finisare (dB)	După finisare (dB)	Scădere procentuală %	Flancul de 30°	Înainte de finisare (dB)	După finisare (dB)	Scădere procentuală %
	1	93,33	91,98	-0,01		94,27	94,07	0
2	92,67	91,98	-0,01	94,1	94,07	0		
3	93,03	91,98	0	93,92	94,65	0,01		
4	95,53	93,28	-0,02	95,82	94,63	0,01		
5	92,98	92,52	-0,01	93,4	93,22	0		
medie	93,51	92,5	-0,01	94,3	94,13	0		

Tabel 3: Rezultatele experimentului în ceea ce privește nivelul de sunet precum și scăderea procentuală

- se observă o stagnare a nivelului de zgomot după finisare pentru toate speci­me­nele testate precum și un nivel de zgomot egal în cazul funcționării în sensul de rotație cu flancul portant de 30 grade comparativ cu funcționarea în sensul de rotație cu flancul portant de 10 grade. Nivelul de încărcare a angrenajului a fost constant pe tot parcursul experimentului, frâna cu pulberi magnetice a furnizat o forță de frânare de 12 Nm. În urma experimentului desfășurat se pot trage câteva concluzii în ceea ce privește nivelul de sunet:

- între zona de măsurare A (care corespunde capacului mare negăurit a axului roții frontale) și zona B (care corespunde cu locul de ieșire a axului în zona cuplajului elastic cu bolțuri) nu există diferențe. Nivelul de zgomot înregistrat pentru ambele zone este cuprins în domeniul 90-95 dB. Pentru urechea umană diferențele de 5 dB nu sunt sesizabile;

- între angrenarea pe flancul portant de 10 grade și 30 grade nu s-au înregistrat decât diferențe minore privind nivelul de zgomot, diferențele sunt încadrabile în domeniul de acuratețe a sonometrului (+/-3,45 dB);

- în urma finisării prin lepuire a fost înregistrată stagnarea nivelului de zgomot.

Fenomenul de stagnare a nivelului de sunet indiferent de sensul de rotație și de rugozitate poate să aibă următoarele explicații:

- mărirea zonei de contact, care în ciuda îmbunătățirii comportamentului termic, produce un nivel de zgomot mai mare;

- fiind un stand experimental complex în care am urmărit comportarea generală a angrenajului, nu am vrut să izolăm fonic toate componentele. Dacă din punct de vedere: termic și a nivelului de vibrații (motorul electric se afla în alt plan decât angrenajul testat) putem afirma cu certitudine ca elementele pot fi considerate izolate nu același lucru îl putem afirma în cazul nivelului de sunet. Sumarizând puteam accepta posibilitatea că rezultatele au fost perturbate de celelalte izvoare de zgomot din stand și ne referim aici la: motorul electric, cureaua de transmisie pe fulie și nu în ultimul rând la frâna cu pulberi electromagnetice);

în această chestiune cercetările ingineresti trebuie continuate prin concentrarea asupra rezolvării acestei probleme. Sugerăm ca și direcție viitoare de cercetare științifică construirea unui stand dedicat special pentru înregistrarea nivelului de sunet dotat cu mai multe aparate de măsurare a nivelului de zgomot.

Determinarea nivelului de vibrații Rezultatelor obținute în urma experimentului sunt prezentate sub forma de grafice comparative în figurile 14 și 15.

În urma analizei grafice a rezultatelor obținute în urma măsurătorilor experimentale s-a observat o corelație directă între: scăderea nivelului de vibrații și îmbunătățirea comportamentului termic pentru ambele senzori de rotație. Această corelație este prezentată în

graficul din figura 16.

În urma analizei grafice a rezultatelor obținute în urma măsurătorilor experimentale s-

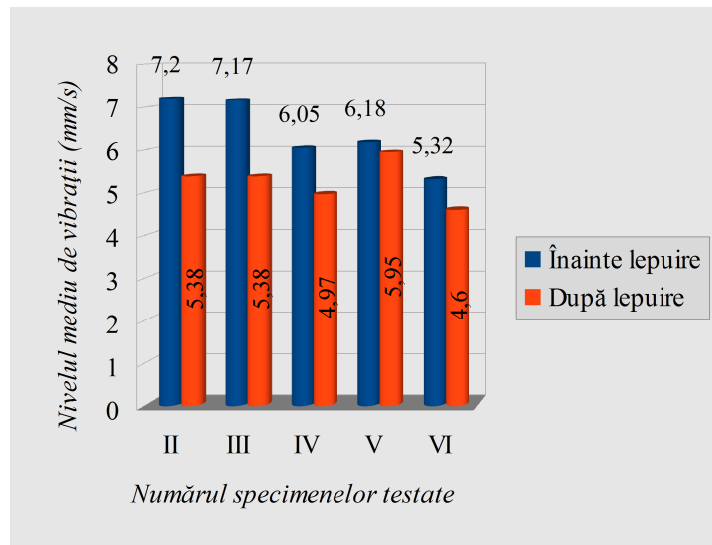
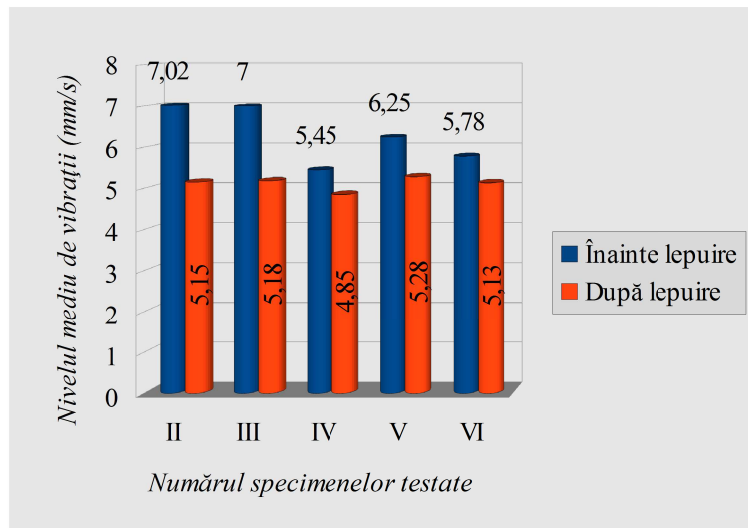


Figura 14: Nivelul mediu de vibrații măsurat în sensul de rotație având flancul portant de 10 grade.

a observa o corelație directă între: scăderea nivelului de vibrații și mărirea medie a zonei de contact pentru ambele sensuri de rotație. Această corelație este prezentată în graficul din figura 16.

În ce privește nivelul de vibrații, în urma experimentului se pot trage câteva concluzii:

- între zona de măsurare A (care corespunde capacului mare negăurit a axului roții

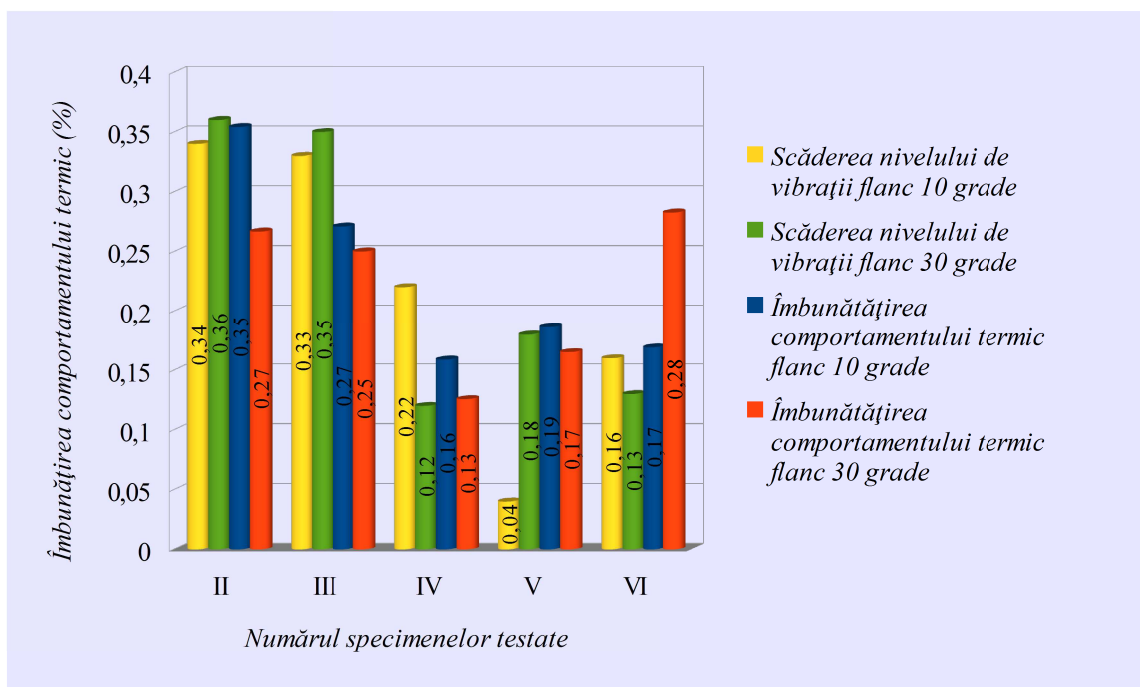


Figură 15: Nivelul mediu de vibrații măsurat în sensul de rotație flancul portant de 30 grade.

frontale) și zona B (corespunde locul de ieșire a axului în zona cuplajului elastic cu bolțuri) există diferențe. În general în zona A nivelul de vibrații este mai mic decât în zona B, fapt care se explică prin poziționarea lagărelor față de sursa de vibrații. Nivelul de vibrații înregistrat pentru ambele zone este cuprins în domeniul 4,85-7,2 mm/s;

- între angrenarea având flancul portant de 10 grade și cel de 30 grade s-au înregistrat diferențe privind nivelul de vibrații. În urma măsurătorilor efectuate, putem

concluziona că angrenarea pe flancul portant de 10 grade produce un nivel mai mare de vibrații decât angrenarea pe flancul portant de 30 grade atât înainte cât și după lepuire. Acest fapt poate fi considerat un factor nefavorabil;



Figură 16: Corelația dintre scăderea nivelului de vibrații și îmbunătățirea comportamentului termic pentru speciemenele testate

- din grafice figurile 14 și 15 se observă o scădere a nivelului de vibrații după finisare pentru toate speciemenele testate;
- se observă legătură directă dintre: scăderea nivelului de vibrații, mărirea zonei de contact și îmbunătățirea comportamentului termic.

Concluzii și contribuții În urma analizei datelor obținute în timpul experimentelor desfășurate se pot enunța următoarele concluzii:

- pentru cazurile supuse experimentului se observă o scădere a nivelului de vibrații după operația de lepuire. În cazul funcționării angrenajului în sensul de rotație în care flancul portant are 10 grade s-a observat un nivel mai mare de vibrații comparativ cu sensul de rotație în care flancul portant are 30 grade. Nivelul mediu de vibrații se reduce după finisare cu 22% pentru flancul 10 grade și 23% pentru flancul de 30 de grade.
- s-a constatat de asemenea o scădere a diferenței dintre temperatura băii de ulei și cea a mediului exterior după finisare pentru toate speciemenele testate pentru ambele sensuri de rotație. Diferența medie (medie aritmetică) dintre temperatura băii de ulei și temperatura mediului exterior a scăzut cu 1,6 grade Celsius pentru flancul portant de 10 de grade și de 0,95 grade Celsius pentru flancul portant de 30 de grade.
- experimentele au demonstrat o menținere relativ constantă a nivelului de zgomot după finisarea prin lepuire pentru toate speciemenele testate. Nivel de zgomot este egal pentru ambele sensuri de rotație.

- s-a constatat o creștere a petei de contact după finisare pentru toate speci­menele testate cu 23% pentru ambele sensuri de rotație.

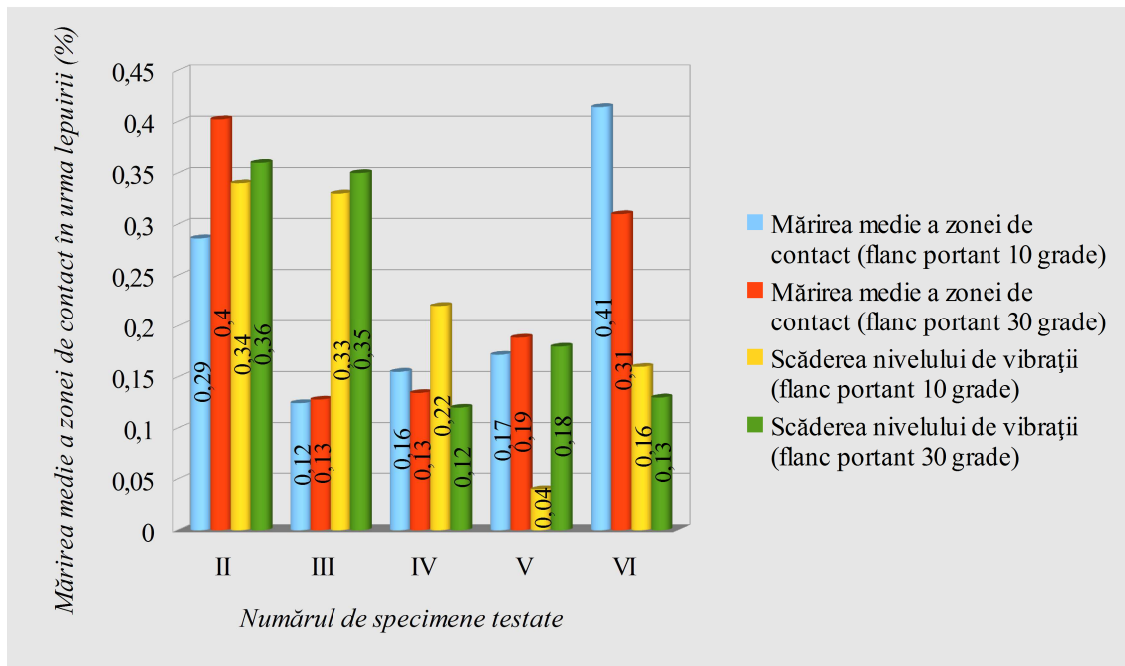


Figura 17: Corelația dintre scăderea nivelului de vibrații și mărirea zonei de contact pentru speci­menele testate

În figura 18 se prezintă sinoptic datele însumate ale experimentului în cea ce privește: scăderea medie totală a nivelului de vibrații, îmbunătățirea totală a comportamentului termic și mărirea medie totală a petei de contact.

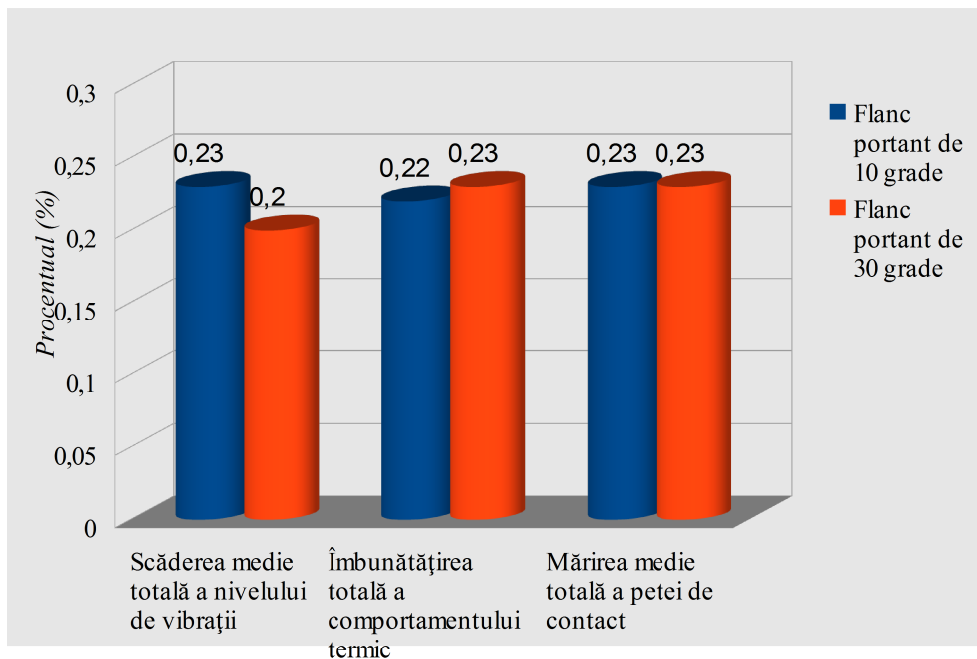


Figura 18: Comparație procentuală dintre factorii: scăderea medie totală a nivelului de vibrații, îmbunătățirea totală a comportamentului termic și mărirea medie totală a petei de contact pentru ambele sensuri de angrenare ale roților frontale melcate.

După cum se observă toți acești parametri se îmbunătățesc cu 20-23%. Din punct de

vedere economic, procentul de creștere a acestor parametri este semnificativ și pot decide folosirea sau nu a unei metode de lepuire.

Principalele contribuții aduse în cadrul acestui capitol sunt următoarele:

- demonstrarea experimentală a corelației dintre valoarea creșterii zonei de contact și îmbunătățirea comportamentului termic al angrenajului melcat frontal;
- demonstrarea experimentală a legăturii directe dintre scăderea nivelului de vibrații și mărirea zonei de contact;
- demonstrarea experimentală a faptului că urmare a finisării prin lepuire se îmbunătățește: mărirea petei de contact, comportamentul termic și nivelul de vibrații în funcționare. Nivelul de zgomot rămânând relativ constant.

CAPITOLUL 7. Concluzii generale, contribuțiile lucrării, direcții de dezvoltare viitoare ale cercetării.

Prezenta cercetare a urmărit ca obiectiv principal stabilirea unei tehnologii de finisare a flancurilor elementelor componente a angrenajului melcat frontal cu melc cilindric din oțel prin operația de lepuire. Operație care să aducă calitatea suprafeței la rugozități ce vor permite o funcționalitate cu frecări minime asigurându-se reducerea nivelului de zgomot și de vibrații. Atingerea acestui obiectiv a presupus realizarea unei cercetării complexe care a atras după sine obținerea unui pachet important de concluzii și contribuții.

Concluzii finale Pe baza celor afirmate și dezvoltate în capitolele anterioare, principalele concluzii care au rezultat sunt următoarele:

- în domeniul finisării roților melcate frontale preocupările colectivelor de cercetare sunt extrem de reduse și se referă la abordări predominant teoretice;
- lipsa unui standard specific privind calculul geometric și de portanță precum și a unui program de calcul aferent acestei familii de angrenaje. În literatură fiind date elemente de proiectare diferite;
- danturarea roților melcate frontale din oțel cu ajutorul cuțitului rotativ este o variantă satisfăcătoare din punct de vedere: tehnic, economic, al preciziei dimensionale și a calității suprafeței obținute pentru unicate și serii foarte mici;
- rugozitatea R_a a flancurilor prelucrate prin danturarea cu cuțit rotativ a roților melcate din oțel se încadrează în jurul valori de $1,6 \mu\text{m}$ fiind satisfăcătoare din punct de vedere tehnologic;
- dezavantajul principal al prelucrării cu ajutorul cuțitului rotativ față de prelucrarea cu freză-melc îl reprezintă durata mare pe care o necesită danturarea unei roți, aceasta fiind de ordinul a mai multor ore;
- operația de lepuire realizată cu soluțiile de lepuir concepute de autor a permis aplatizarea vârfulor microasperităților uniforme pe suprafața întregului flanc, prin operația de lepuire asigurându-se o îmbunătățire a rugozității flancurilor (cu circa 12,5%).
- datorită geometriei particulare a roților melcat frontale nu este posibilă determinarea rugozității prin măsurare cu rugozimetru decât în zonele unde are acces palpatorul, fiind necesară utilizarea metodei indirecte cu utilizarea etaloanelor de rugozitate pentru zonele inaccesibile;
- pentru eforturile care se generează la operația de finisare prin lepuire nu există expresii teoretice satisfăcătoare. Lepuirea fiind un proces de mare complexitate, simularea ei are la bază numeroase premise simplificatoare ceea ce conduce la un grad ridicat de aproximare;

- standardul ISO 14521.2:2006 (Gear Calculation of load capacity of worm gears- Calculul capacității de încărcare a angrenajelor melcate) poate fi folosit, prin aproximări acceptabile și pentru a determina încărcarea angrenajului melcat frontal folosindu-se date geometrice specifice acestui tip de angrenaj.
- Angrenarea roților melcate frontale cu melc cilindric poate fi simulată prin introducerea unei solicitării specifice în algoritmul de calcul a încărcărilor și apoi analiza FEA la nivelul profilului dintelui.
- pentru cazurile supuse experimentului se observă o scădere a nivelului de vibrații după operația de lepuire. În cazul funcționării angrenajului în sensul de rotație în care flancul portant are 10 grade s-a observat un nivel mai mare de vibrații comparativ cu sensul de rotație în care flancul portant are 30 grade. Nivelul mediu de vibrații se reduce după finisare cu 22% pentru flancul 10 grade și 23% pentru flancul de 30 de grade.
- experimentele au demonstrat o menținere relativ constantă a nivelului de zgomot după finisarea prin lepuire pentru toate specițiile testate. Nivel de zgomot este egal pentru ambele sensuri de rotație.
- s-a constatat de asemenea o scădere a diferenței dintre temperatura băii de ulei și cea a mediului exterior după finisare pentru toate specițiile testate pentru ambele sensuri de rotație. Diferența medie (medie aritmetică) dintre temperatura băii de ulei și temperatura mediului exterior a scăzut cu 1,6 grade Celsius pentru flancul portant de 10 de grade și de 0,95 grade Celsius pentru flancul portant de 30 de grade.
- s-a constatat o creștere a petei de contact după finisare pentru toate specițiile testate cu 23% pentru ambele sensuri de rotație.

Contribuțiile originale ale lucrării. În cadrul lucrării principale contribuții originale aduse sunt următoarele:

- realizarea unui studiu bibliografic asupra celor mai reprezentative metode de finisare a angrenajelor melcate plane;
- realizarea unui breviar de calcul geometric, în Mathcad 13, folosind elementele bibliografice cunoscute;
- proiectarea unui angrenaj melcat frontal cu melc cilindric cu folosirea breviarului conceput;
- realizarea documentației de execuție a elementelor componente ale angrenajului proiectat;
- proiectarea și executarea unui ansamblu port-sculă - cuțit rotativ adecvat angrenajului executat $m_a=2,5$;
- realizarea a 6 roții melcate frontale și 2 melci cilindrici din oțel pentru tratamente termice durificate prin nitrurare gazoasă;
- stabilirea regimurilor de așchiere pentru danturarea semifabricatelor din oțel cu cuțit rotativ;
- identificarea ca și problemă specifică a danturării roților frontale cu cuțit rotativ apariția pe suprafața de ieșire și de intrare a dintelui a unor zone cu rugozitate mai mare;
- dezvoltarea unei metode de control a roților frontale care implică folosirea unei mașini de măsurat în 3 coordonate.
- construirea unui stand pentru realizarea lepuirii și testării comportamentului în funcționare a angrenajelor melcate frontale finisate;
- conceperea și efectuarea unui program de lepuire bazat pe 3 etape succesive (rodaj, faza de finisare și faza de evaluare) și stabilirea de regimuri de lucru precise pentru fiecare fază a experimentului.

- conceperea și prepararea unei soluții de lepuit I apoase cu următoarea compoziție: silicat de sodiu și carbură de siliciu 20% (5:1). Compoziția soluției de lepuit folosite este o contribuție originală;
- conceperea și prepararea unei soluții de lepuit II cu următoarea compoziție: silicat de sodiu, carbură de siliciu 25% și agent tixotrop AEROSIL 3,6 (4:1:0,3). Compoziția soluției de lepuire folosite este o contribuție originală;
- determinarea rugozității rezultate în urma procesului de lepuire pentru flancurile prelucrate prin măsurare cu rugozimetru (în zona unde s-a asigurat accesul), respectiv prin comparare cu etaloane de rugozitate în zonele inaccesibile.
- determinarea analitică a tensiunilor specifice solicitărilor la presiunea de contact de pe flancurile dinților roții melcate frontale care pot fi considerate cu aproximație ca fiind tensiunile ce se produc în timpul operației de lepuire;
- determinarea analitică a tensiunilor specifice solicitărilor la încovoiere din flancurile dinților roții melcate frontale
- analiza FEM a tensiunilor din flancurile dinților care apar în timpul operației de lepuire;
- demonstrarea experimentală a corelației dintre valoarea creșterii zonei de contact și îmbunătățirea comportamentului termic al angrenajului melcat frontal.
- demonstrarea experimentală a legăturii directe dintre scăderea nivelului de vibrații și mărirea zonei de contact
- demonstrarea experimentală a faptului că urmare a lepuirii se îmbunătățește: mărirea petei de contact, comportamentul termic precum și nivelul de vibrații. Nivelul de zgomot rămâne relativ constant.

Toate contribuțiile menționate mai sus au la bază studiile teoretice și experimentale efectuate și care au fost prezentate în capitolele anterioare.

La final, autorul lucrării își exprimă speranța, că rezultatele experimentele obținute să fie utile specialiștilor în domeniu precum și producătorilor de transmisii mecanice.

Perspective de dezvoltare a temei de cercetare Stadiul și rezultatele obținute în cadrul cercetării efectuate deschid posibilitatea dezvoltării și aprofundării temei.

Se desprind următoarele perspectivele de continuare a cercetării problematice tehnologice a angrenajului melcat frontal:

- studii privind danturarea cu freza melc a roților melcate frontale din oțel;
- studii privind durificarea roților melcate frontale prin tratamentul de cementare,
- identificare posibilităților de rectificare a roților melcate frontale;
- dezvoltarea unor cercetării privind reducerea nivelului de zgomot a angrenajelor melcate frontale din oțel;
- identificarea unor aplicații ale acestor angrenaje în utilajelor petrochimice și altele;
- identificarea aplicațiilor acestor angrenaje în structura unor ansamble mecatronice;
- folosirea diverselor cupluri de materiale pentru realizarea elementelor angrenajelor melcate;
- testarea altor tipodimensiuni a angrenajelor melc, roată frontală, privind finisarea prin lepuire;
- perfecționarea prin folosirea modului tridimensional a simulării CAD-CAM incluzând aici și metoda elementului finit.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [5.] Baicu. I., Oancea, N., Morarescu, A., 2003, *Algorithm for the 3D profiling of a spiroid Worm gear tooth*. International conference "POWER TRANSMISSION 03", Balkan Association of Mechanical Engineering, Section I, Varna , p.251-254, ISBN 954-90272-9-5.
- [7.] Boloş V., *Angrenaje melcate spiroido Danturarea roşilor plane*, Editura Universităţii Petru Maior Târgu Mureş, 1999.
- [8.] Boloş, V. şi Gavrilă, I., *Research on the possibility to determine the tooth flank surface of worm face gear*, Annals of MTeM 2007 Conference Cluj-Napoca 4th-5th October 2007, pp 67-102, ISBN 973-9087-83-3
- [9.] Boloş V., Gavrilă I., Bob M., *Research of possibility to determine tooth flank surface of worm face gear with universal measurement machine GHIBLI-TRAX assisted by Ouindos*– Proceeding InterEng 3th 2007 Conference Târgu Mureş 15-16 November 2007, pp I-43-1-I-43-4 ISSN 1843-780
- [13.] Coy J, Townsend D., *Gearing*, Nasa Reference publication 1152, AVSCOM Technical report 84-C-15-1985
- [16.] Dudas I., *Optimization and manufacturing of spiroid gearing*, University of Miskolc AI 4 congres de angrenaje şi transmisii de putere. Paris 1999.
- [17.] Dudas I., *The theory and practice of worm gear drive*, Prof. Dr.Sc. University of Miskolc, Prenton Press 2002.
- [18.] Dudley, D.W., *Gear Handbook*, Mc.Graw-Hill, New-York, 1962
- [21.] Franz J., Kurz N. and Glatthaar B., *Influence of coatings and surface improvements on the lifetime of gears*, International Conference on Gears, held March 13-15, 2002, in Munich, Germany
- [22.] Gavrilă I., *Cercetări experimentale asupra finisării şi controlul suprafeţelor angrenajelor melcate plane*, Referat III, Cluj Napoca, 2010
- [23.] Gavrilă Ion *Modelarea si simularea procesului finisării angrenajelor melcate spiroido cilindrice plane*, Referat II, Cluj Napoca, 2008
- [24.] Gavrilă, I., *Simulation of lapping process for plain spiroid worm gears*, Annals of MTeM for 2009 & Proceeding of the 9th International Conference Modern Technologies in Manufacturing 8th-10th October, 2009, Cluj-Napoca, Romania, pp. 99-102, ISBN 973-7937-07-0
- [25.] Gavrilă, I., *Tooth's tensions analysis of face worm gears with cylindrical pinion development of FEA*, Conference 4th InterEng Târgu Mureş 11-12 November 2009, Scientific Bullentin of the Petru Maior University of Targu Mures Vol. 6, pp 434-437 ISSN 1843-780X
- [26.] Gavrilă I., Boloş V., *Research concerning influence of worm face gear finishing process upon noise and vibration level* Proceeding Conference 5th InterEng Târgu Mureş 2011, pp 174-177, ISSN 2285-0945, ISSN-L 2285-0945
- [27.] Gavrilă I., Boloş V., *Research concerning influence of worm face gear finishing process upon contact pattern and thermal behavior* Proceeding Conference 6th InterEng Târgu Mureş, 2012 ISSN 2285-0945, ISSN-L 2285-0945
- [32.] Handschuh R. F., Lewicki David G., *Experimental Evaluation of face gears for aerospace drive system applications* – NASA Technical Memorandum 107227 Army Research Laboratory Technical Report ARL-TR-1109
- [36.] Jao T.C., Devlin MT, *Influence of surface roughness on Gear Pitting Behavior*, presented at the AGMA 2004 Fall Technical Meeting, held oct 23-25, 2004 Milwaukee
- [38.] Kapelevich A., *Direct Gear Design: Bending Stress Minimization*. Thermotech Company and Yuriy Shekhtman, Gear Technology, September/october 2003
- [41.] Krantz L. T., *The influence of roughness on gear surface fatigue*, NASA/TM 2005 213958-ARL-TR-3134
- [46.] Lewicki D. Dempsey J. Heath G., *Gear fault detection effectiveness as applied to tooth surface pitting fatigue damage*, Gear technology November December 2010
- [49.] Lewicki G. David, Heath Gregorz F., Filler Robert R., Stephen C. Slaughter, Fetz Jason, *RDS-21 Face-gear surface durability test*, NASA/TM-2007-214970-ALT-TR-4089
- [54.] Litvin F., Fuentes A., *Gear geometry and applied theory*, Second Edition – Cambridge University Press 2004

- [58.] Litvin F., Nava A., Qi Fan, Fuentes A., *Improved Gear Shapes for Face Worm Drives* University of Illinois at Chicago, Chicago, Illinois, National Aeronautics and space Administration Washington, DC 205460001 and U.S. Army Research Laboratory, Maryland 20783, LEW-17596-1, 01 JUNE, 2006.
- [59.] Litvin F., Nava A., Qi Fan, Fuentes A., *New geometry of worm face gear drives with conical and cylindrical worms: generation, simulation of meshing, and stress analysis* University of Illinois at Chicago, Chicago, Illinois, National Aeronautics and space Administration Washington, DC 205460001 and U.S. Army Research Laboratory, Maryland 20783, NASA CR-2002-211895, ARL-CR-0511, November 2002.
- [65.] Michalski J., *Surface topography of the cylindrical gear tooth flanks after machining*, Springer Received: 25 January 2008/Accepted: 28 August 2008/Published online: 16 September 2008 Springer-Verlag London Limited 2008
- [71.] Mohsen K. and Masseth J., *Lapping and superfinishing effects on hypoid gears surface finish and transmission errors*, Proceedings of the ASME 2007 International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2007, September 7, 2007
- [85.] Rao Suren B, McPherson Douglas R. *Experimental characterization of bending fatigue strength in gear teeth*, Gear technology January/February 2003
- [106.] Spievak L. E., Wawrznek P. A., Ingrassia A. Cornell University, Ithaca, New York, *Simulating fatigue crack growth in spiral bevel gears*, NASA/CR-2000-210062, ARL-CR-451.
- [107.] Stachowiak G. W., Batchelor Andrew W. Department of Mechanical and Materials Engineering, University of Western Australia, *Engineering tribology*, Butterworth Heinemann 2000
- [110.] Staniek R., *Shaping of Face Tothing in Flat Spiroid Gears*, Poznan University of Technology, Institute of Mechanical Technology–Journal of Mechanical Engineering 57 (*2011).
- [115.] Sudrijan M. Csibi V., Herciu D., *Sculă pentru rectificarea precisă a roților dințate frontale* brevet de invenție 121.729 B1 an 2007
- [120.] Vinayak H., Hansen B., *Gear tooth topological modification for reducing noise and vibrational in transmission system*, US patent 6918181 B2, July 2005
- [121.] Vistriian M., Napau Il. Napău R., Napău M., Napău I., *Numerical simulation of worm-face gear drive manufacturing* Technical University of Cluj-Napoca, Inter-Eng-2005, Petru Maior University Târgu Mureș 2005.
- [126.] Zhu D., Bujold M., *Polished gear surfaces*, US patent 6,732,606-B1-May 2004

MANUALE

- [132.] Manual de utilizare–a mașinii de danturat FD 500 IM CUGIR
- [134.] Manual de utilizare, Bremsen mit Hohtwelle, *Through Shaft Brakes*, Mobac GmbH Bunsenstrabe1–Kiel
- [138.] Manual de utilizare *VIB-10* technical data sheet, SPM Instrument AB, Sweden, 2011

STANDARDE

- [139.] ISO DIS 14521.2–2006-Gear-Calculation of load capacity of wormgears
- [144.] STAS 791-80-Oțel aliat pentru tratamente termice

SITIOGRAFIE

- [146.] [www.http://pdf.directindustry.com/pdf/mobac/magnetic-powder-brakes-and-coupling/14780-18312-18.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/mobac/magnetic-powder-brakes-and-coupling/14780-18312-18.html)
- [148.] www.spminstrument.se
- [150.] www.davall.co.uk
- [153.] www.gleason.com