



STUDIUL PREDICTIV AL ANGRENAJELOR DIN MAȘINI-UNELTE

Florin ȚEPEȘ-BOBESCU, Mariana ARGHIR

PREDICTIVE STUDY OF MACHINE-TOOLS GEARS

This paper is designed to offer a better understanding of the need for predictive maintenance for safe operation of machine-tools and minimizing idle time and reducing repair costs. The ultimate goal of predictive maintenance is the implementation of maintenance works "when appropriate" before the equipment is damaged during the operation.

Keywords: mechanical vibration, gears, machine tools, predictive
Cuvinte cheie: vibrații mecanice, angrenaje, masini-unelte, predicție

1. Introducere. Definiții

Mentenanța este totalitatea operațiunilor prin care echipamentele sau utilajele sunt întreținute astfel încât să funcționeze în parametrii optimi [3].

Operațiunile de mentenanță efectuate în mod regulat reduc pierderile cauzate de defecțiuni și accidentele de muncă. Principalele operațiuni de mentenanță în cazul organelor de mașini mecanice sunt înlocuirea pieselor uzate, completarea fluidelor de lucru (lubrifianți), reglarea componentelor și îndepărtarea factorilor de uzură (apă, praf, acizi etc.).

Definiții specifice:

- mentenanța – concept care întrunește noțiunile de "întreținere, reparații";

- fiabilitate – măsura cu care un utilaj va funcționa fără defecțiuni pe parcursul misiunii, în condiții de utilizare stabile;
- fiabilitate tehnologică – măsura cu care un utilaj poate să realizeze pe parcursul misiunii, performanțele tehnologice prestabilite (capabilitate);
- reparații – totalitatea activităților prin care o mașină (echipament) este adusă la parametrii normali de funcționare.

Metode de mentenanță practicate sunt:

- mentenanța preventivă, bazată pe timp și stare;
- mentenanța predictivă, pe bază de măsurători directe în funcționare;
- mentenanța proactivă, bazată pe analiza combinată a:
 - tuturor datelor de istoric ale evoluției echipamentului;
 - măsurătorilor specifice mentenanței predictive;
 - informațiilor specifice mentenanței preventiv-planificate;
 - mentenanța corectivă (pentru remedierea defectelor accidentale).

2. Mentenanța predictivă. Noțiuni generale

Mentenanța predictivă își propune să evalueze starea echipamentului printr-o monitorizare periodică (off-line) sau continuă (on-line). Obiectivul final al mentenanței predictive este executarea lucrărilor de mentenanță "la momentul oportun", înainte ca echipamentul respectiv să se deterioreze în timpul funcționării [3]. Mentenanța programată presupune intervenții regulate asupra echipamentelor, de multe ori fără a răspunde unei nevoi urgente. Mentenanța programată presupune un mare volum de muncă, fiind costisitoare și ineficientă în identificarea problemelor care intervin între reviziile programate. În cazul mentenanței predictive, verificările sunt realizate în timpul funcționării echipamentelor, minimizând întreruperile activităților curente.

Avantajele mentenanței predictive:

- reducerea numărului de opriri accidentale, care presupun opriri ale producției și costuri mari de mentenanță;
- verificările din cadrul activității de mentenanță predictivă prelungesc în mod considerabil intervalele dintre acțiunile de mentenanță;

- durata de viață a echipamentului poate fi prelungită prin depistarea și corectarea problemelor, amintind doar câteva dintre ele: probleme de poziționare (picior moale și aliniere), dezechilibre, defectele lagărelor, probleme hidraulice, probleme ale lanțurilor de transmisie a puterii, probleme de lubrifiere, defecțiuni electrice.

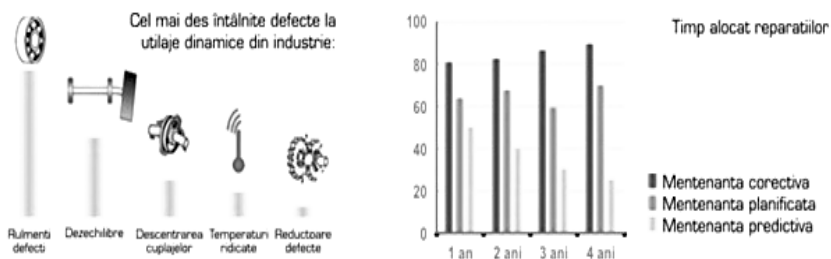


Fig. 1 Tipuri de defecțiuni ale mașinilor-unelte

La momentul efectuării mentenanței predictive utilajele funcționează în condiții de siguranță până la instalarea unui anumit nivel de uzură, sau apariția unui defect. În acest sistem, utilajele vor fi oprite la o dată anticipată cu săptămâni înainte, iar reparația va fi făcută doar acolo unde este nevoie. Acest sistem permite depistarea din timp, localizarea și identificarea defecțiunii sau a piesei uzate, precum și calculul duratei de funcționare în condiții de siguranță a utilajului. Este posibilă planificarea opririi, pregătirea echipei de intervenție, comandarea pieselor de schimb necesare și reducerea la minim a duratei de staționare pentru reparație.

3. Studiul predictiv al angrenajelor

Angrenajul este un mecanism elementar format din două roți (sau sectoare) dințate, mobile în jurul a două axe având poziție relativă invariabilă, una dintre aceste roți antrenând-o pe cealaltă. Se realizează un contact continuu prin angrenarea succesivă a dinților.

3.1. Defectele angrenajelor

În practică se utilizează noțiunile de neconformanță și defecțiune care având înțelesuri apropiate și nefiind identice, se impune a fi definite.

Neconformanța este o abatere a unei caracteristici de calitate de la nivelul dorit sau stare, care apare cu o severitate suficientă ca produsul sau serviciul asociat să nu îndeplinească cerința unei specificații [1].

Defectul este o abatere a unei caracteristici de calitate de la nivelul dorit, sau stare, care apare cu o severitate suficientă ca produsul sau serviciul asociat să nu satisfacă cerințele de utilizare dorite, normale sau rațional previzibile [1]. Defectul este evenimentul fundamental în teoria fiabilității. Se constată că termenul de “neconformanță” este apt pentru a fi folosit de controlul calității la producători sau la recepția unui produs, iar cel de “defect” în exploatare. O transmisie poate, de exemplu, să fie neconformă dar să nu fie defectă. O defecțiune are întotdeauna asociată o neconformanță.

Prezența rugozităților și undulațiilor cu geometrii necorespunzătoare pe suprafețele active ale cuplelor de frecare conduce, atât la micșorarea capacității portante, cât și la mărirea nivelului de zgomot și vibrații. Mecanismul formării particulelor de uzură este foarte complex și depinde de mulți factori, unii cu caracter contradictoriu, în funcție de condițiile de exploatare (sarcină, viteză, lubrifiant, temperatură etc.).

Efectele negative ale uzării se pun în evidență prin: scăderea randamentului, consumul de lubrifiant, creșterea nivelului de zgomot și vibrații, modificarea raportului de transmitere, modificarea regimului termic și, în final, deteriorarea principalelor elemente ale sistemului mecanic fără posibilitate de reparare (blocări ca urmare a modificării secțiunilor periculoase și creșterii sarcinilor dinamice etc.).

Tabelul 1

Denumirea cuplei de frecare	Stare limită
Cuplă cu contact liniar	
Roți dințate:	
- cu dantură durificată	Uzarea prin oboseală superficială: 1,5-2,0 % suprafață ocupată cu ciupituri din suprafața totală a flancurilor Uzarea de tip adeziv: grosimea limită a stratului uzat $h_{lim} = 60 \dots 80$ % din grosimea stratului durificat
- cu dantură nedurificată	Uzarea prin oboseală superficială: 3,0-4,0 % suprafață ocupată cu ciupituri din suprafața totală a flancurilor Uzarea de tip adeziv: grosimea limită a stratului uzat $h_{lim} = (0,1 \dots 0,3)$ m, m fiind modulul standardizat al roții dințate

În cazul utilajelor sau mașinilor a căror funcție esențială este asigurarea unei anumite precizii cinematice (mașini-unelte, manipolatoare roboți industriali, poduri rulante etc.) - modificarea dimensiunilor de lucru ale elementelor componente, datorită uzurii, implică funcționarea lor incorectă și, prin urmare, se consideră că acestea s-au defectat.

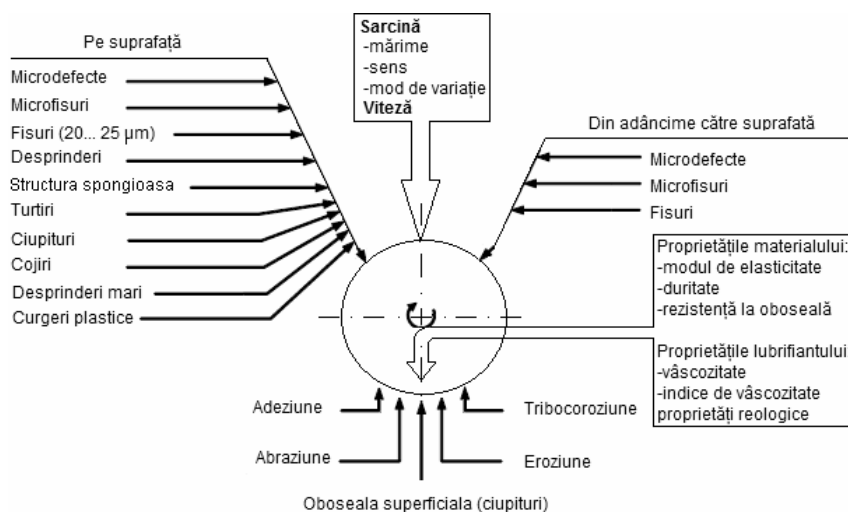


Fig. 2 Principalele cauze și forme de deteriorare a organelor de mașini cu mișcare relativă [1]

Solicitările organelor de mașini nu depășesc, în cele mai numeroase cazuri, starea elastică de deformare a macrogeometriei. Deși aceste deformări sunt mici, prezența lor poate perturba funcționarea altor organe de mașini. Astfel, deformările elastice torsionale și flexionale ale arborilor unei transmisii mecanice influențează funcționarea corectă a lagărelor cu alunecare sau cu rostogolire, necesare rezemării arborelui respectiv.

Totodată, deformările arborelui influențează și funcționarea corectă a organelor de mașini care sunt montate pe arbore roți dințate, roți de lanț, cuplaje.

În general, deformările conduc la sarcini dinamice, vibrații și la repartizarea neuniformă a sarcinii pe suprafețele active ale unora dintre organele de mașini care transmit fluxul de forță nemijlocit (angrenaje, rulmenți cu role, variatoare cu fricțiune). Angrenajele se uzează și se

defectează mai mult în zona de angrenare a dinților. În timpul exploatării, suprafața de angrenare a dinților se poate uza, deforma, deteriora sau rupe. Cele mai obișnuite forme de deteriorare a dinților sunt cunoscute sub denumirea de uzură de abraziune, uzură de contact (scuffing), uzură prin oboseală (pitting), deformare plastică și rupere prin impact. Fiecare dintre aceste forme de uzură tinde să predominie într-o anumită zonă a combinației sarcină-turație.

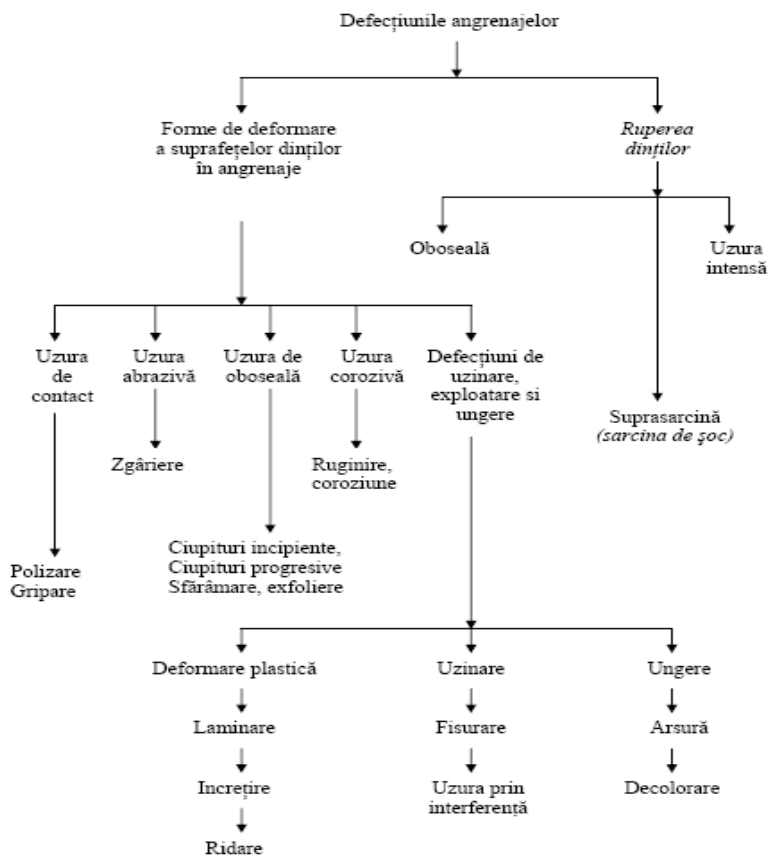


Fig. 3 Defecțiunile angrenajelor [2]

4. Erorile de transmisie a dinților din angrenaj

Înainte de a defini analitic erorile de transmisie (TE) s-a recunoscut universal că deformarea dintelui în sarcină în timpul

angrenării afectează cinematica angrenării astfel cauzând un impact asupra angrenării dinților, acesta fiind un factor principal al apariției vibrațiilor în transmisiile mecanice. Astăzi datorită acestor considerații sunt suportate modificări de profil pe scară largă dar aceste modificări sunt bazate pe reguli pragmatice sau sunt selecționate în funcție de succesul obținut în experiențe similare.

De acea această metodă de aplicare a modificărilor de profil pentru reducerea vibrațiilor a fost introdusă înaintea definirii TE lucru confirmat prin acte în 1940 de H. Walker și D.W. Dudley, aceștia propunând folosirea metodei pentru “reducerea zgomotului, frecarea și uzură”.

Cu toate acestea o corelație precisă între TE al angrenajelor și zgomot încă lipsește, iar cercetarea continuă datorită numărului mare de fenomene implicate. În scopul dezvoltării unui model teoretic mai aproape de realitate testele experimentale sunt necesare pentru a înțelege de ce uneori modificările de profil proiectate pentru a reduce vibrațiile au efecte diferite față de cele prognozate.

Geometria diferită a dinților cauzează impacte diferite în fiecare angrenaj. Erorile de transmisie sunt un indicator a tuturor acestor efecte și se definește astfel:

$$TE = \theta_2 - \frac{z_1}{z_2} \theta_1 \quad (1)$$

θ_1 - poziția unghiulară a pinionului;

θ_2 - poziția unghiulară a roții dințate;

z_1 – numărul de dinți ai pinionului;

z_2 – numărul de dinți ai roții dințate.

5. Concluzii

■ La momentul efectuării mentenanței predictive utilajele funcționează în condiții de siguranță până la instalarea unui anumit nivel de uzură, sau apariția unui defect.

■ Obiectivul final al mentenanței predictive este executarea lucrărilor de mentenanță "la momentul oportun", înainte ca echipamentul respectiv să se deterioreze în timpul funcționării.

■ În scopul dezvoltării unui model teoretic mai aproape de realitate testele experimentale sunt necesare pentru a înțelege de ce uneori modificările de profil proiectate pentru a reduce vibrațiile au efecte diferite față de cele prognozate.

NOTĂ: Aceasta lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Creșterea calității studiilor doctorale în științe inginerești pentru sprijinirea dezvoltării societății bazate pe cunoaștere" abreviat Q-DOC, contract: POSDRU/107/1.5/S/78534, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] * * * <http://www.omtr.pub.ro/didactic/fsm/fsm02.pdf>
- [2] * * * http://www.mta.ro/doctorat/rezumat_bocanu_ion_liviu.pdf
- [3] * * * <http://www.rompetrol.com/LPM/site%208%20rom/predictive%20maintenan.ce.htm>

Drd.Ing.Florin ȚEPEȘ-BOBESCU
Prof.Dr.Ing. Mariana ARGHIR
Facultatea de Construcții de Mașini,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: tepes_b_florin@yahoo.com, mariananaarghir@yahoo.com,
telefon: 0264 401759, 0264 401657
membri AGIR