

**Conferința Națională Multidisciplinară
„PROFESORUL ION D. LĂZĂRESCU
FONDATORUL ȘCOLII ROMÂNEȘTI
DE TEORIA AȘCHIERII”**

**Ediția a VIII-a
Cugir, 13 decembrie 2024**

SIMULAREA CONTACTULUI LA MERSUL ÎN GOL ÎN ANGRENAJELE MELC-ROATĂ PLANĂ

Ileana-Dacia NAPĂU, Ioan NAPĂU,
Mircea NAPĂU

THE IDLER TOOTH CONTACT SIMULATION IN WORM-FACE GEAR DRIVES

To simulate the idler tooth contact for a worm-face gear drive with localized contact, a combinative algorithm of using an original computer manufacturing simulation method and a MathCAD program has been developed. The contact pattern on a particular worm-face gear teeth flanks is illustrated.

Cuvinte cheie: angrenaj melc-roată plană, computer manufacturing simulation, simulare contact la mersul în gol.

1. Contactul nelocalizat în angrenajul melc-roată plană

Dantura roții plane se obține ca înfășurătoare a muchiiilor așchietoare ale unei freze melc, al cărei melc înfășurător este *identic* cu melcul piesă al angrenajului, teoretic, contactul în angrenare fiind *liniar*.

Localizarea contactului, aferent angrenajelor realizate, s-a obținut printr-un proces iterativ, constând în corectarea flancurilor spirelor melcului piesă și verificarea petei de contact aferentă corecțiilor aplicate, ca dimensiune și poziție pe flancurile dintelui roții plane.

Corijarea melcului piesă, s-a executat conform metodei aplicate curent la angrenajele melcate cilindrice, prin mărirea sau micșorarea valorii pasului elicoidal al melcului, respectiv, modificarea unghiurilor de presiune. Deși metoda de localizare este relativ simplă, aceasta prezintă câteva dezavantaje: este un proces consumator de timp, reclamă o experiență deosebită și nu permite reducerea sensibilității angrenajului la erorile de execuție și montaj ale componentelor.

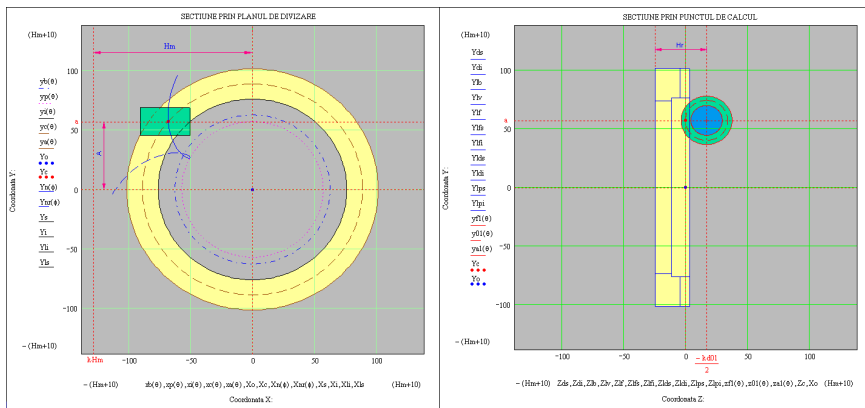


Fig.1 Simularea asamblării virtuale la cotele de montaj, în mediul MathCAD a angrenajului melc-roată plană ($i_{12} = 45:1$, $a=57,15$ mm, sistem stânga).

Pentru angrenajul melc-roată plană cu contact nelocalizat (melcul piesă nefiind încă corijat), la analiza contactului la mersul în gol (în absența încărcării), se consideră doar ansamblul virtual al modelelor 3D CAD. Aceste modele sunt obținute prin simularea virtuală a prelucrării cu ajutorul unei metode originale, denumită CMS (**C**omputer **M**anufacturing **S**imulation) [1], cele două elemente fiind montate la distanțele corespunzătoare de montaj (fig. 1).

Urmele contactului instantaneu, pe flancul convex (concav) al dintelui roții plane, liniar de-a lungul unor curbe, corespunzător situațiilor în care flancul melcului având unghi mic (mare) de presiune, este flanc conducător sunt redată în figura 2. Aceste două situații corespund rotației melcului în sens orar, respectiv anti-orar.

Utilizând angrenarea virtuală a celor două elemente, obținute în urma procesului de modelare 3D, pata de contact, ca sumă a pozițiilor succesive ale liniilor de contact instantanee în angrenare,

corespunzătoare celor două senzori de rotație ale elementului conducător, este simulată în figura 3.

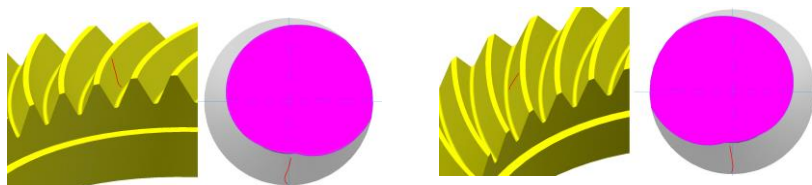


Fig. 2 Linii de contact instantaneu pe flancul convex (concav) al roții plane, respectiv, flancul melcului piesă având unghi mic (mare) de presiune. ($i_{12} = 45:1$, $a = 57,15$ mm, sistem stânga)

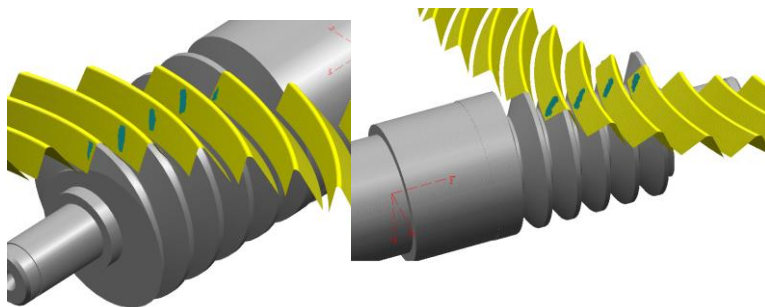


Fig. 3 Pata de contact nelocalizată, ca sumă a liniilor de contact instantaneu pe flancurile dinților roții plane ($i_{12} = 45:1$, $a = 57,5$ mm, sistem stânga).

Flancurile convexe și, respectiv concave, ale roții plane, sunt extrase sub formă de suprafețe, din modelul 3D solid aferent roții plane. În ambele situații, se constată o deplasare a petei de contact spre muchia dinților, cu repercusiuni asupra capacității portante și a eficienței angrenajului. Acestea sunt considerentele pentru care se caută localizarea petei inițiale de contact, într-o zonă predefinită a suprafeței dintelui roții plane, prin devierea intenționată a suprafețelor active ale spirelor melcului piesă, față de suprafața activă a sculei de danturare a dinților roții plane.

2. Simularea contactului localizat la mersul în gol

Modelul de localizare a contactului analizat în lucrare constituie o adaptare a unui model general de localizare a contactului propus de Litvin [2], la angrenajul original melc-roată plană, și presupune [3]:

-localizarea pe înălțimea dintelui roții plane, realizată prin corijarea în secțiune normală, a profilului melcului piesă de tip ZK1, după o curbă parabolică, în raport cu profilul în secțiunea normală a melcului înfășurător al frezei melc (Fig. 4). Astfel, *contactul liniar* al suprafețelor spirelor melcului și al dinților roții plane devine, teoretic, un *contact punctiform*

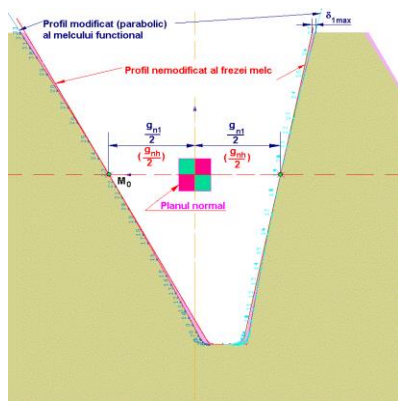


Fig. 4 Corijarea în profil a melcului piesă ($z_1 = 1$, sens stânga).

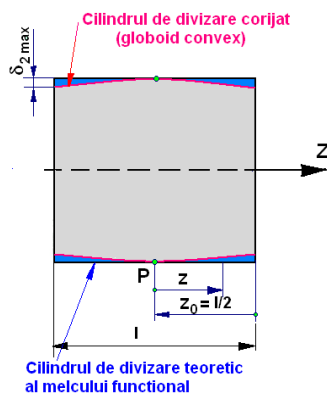


Fig. 5 Corijarea longitudinală a melcului piesă ($z_1 = 1$, sens stânga).

- localizarea pe lungimea dintelui roții plane, realizată prin modificarea suprafeței cilindrice de referință a melcului piesă, într-o suprafață *globoidal convexă (butoi)*, având profilul parabolic într-un plan axial, comparativ cu suprafața cilindrică de referință a melcului înfășurător al frezei melc care prelucrează dantura roții plane (Fig. 5).

Se consideră angrenajul melc-roată plană cu contact localizat având parametrii din Tabelul 1.

Algoritmul de punere în evidență a petei de contact la mersul în gol, ca sumă a pozițiilor instantanee de contact dintre suprafața spirei melcului corijat și cea a dintelui roții plane se bazează pe utilizarea metodei dreptelor paralele [4], adaptată și dezvoltată pentru cazul utilizării modelării și simulării 3D CAD, în combinație cu facilitățile de calcul analitic, oferite de aplicația MathCAD 12. Flancurile active ale

celor două elemente, prelucrate cu ajutorul metodei CMS, se consideră sub forma unor rețele de noduri trasate pe flancurile active ale spirelor melcului piesă corijat, respectiv pe flancurile dinților roții plane. Se urmărește determinarea deplasării suprafeței mobile în direcția axei OZ, considerată suprafața spirei melcului piesă corijat, față de suprafața dintelui roții plane, considerată fixă, corespunzătoare situației în care cele două suprafețe ajung în contact.

Tabelul 1.

Diametrul de divizare al melcului piesă	d_{01}	34,06651 mm
Modulul axial al melcului piesă	m_x	2.787657758 mm
Unghiul de înclinare al spirei melcului piesă pe diametrul de divizare	γ_{01}	4° 40' 41,09"
Direcția de înclinare a elicei spirei melcului piesă		stânga
Raza de referință a discului de rectificare a melcului piesă	r_{s1}	245.68 mm
Diametrul exterior al roții plane	d_{a2}	203.2 mm
Diametrul interior al roții plane	d_{i2}	152.4 mm
Unghiurile de presiune ale melcului piesă în secțiune normală:		
- flanc condus	α_{n1}	30° 30' 0"
- flanc conducător	α_{n2}	12° 30' 0"
Coeficienții funcției parabolice de corijare în profil a melcului piesă:		
- flanc condus	a_{pr1}	0.005 [mm ⁻¹]
- flanc conducător	a_{pr2}	0.005 [mm ⁻¹]
Coeficienții funcției parabolice de corijare longitudinală a melcului piesă:		
- flanc condus	a_{l1}	0.001 [mm ⁻¹]
- flanc conducător	a_{l2}	0.005 [mm ⁻¹]

În planul de montaj al melcului piesă, considerat OXY (Fig. 6), se consideră rețeaua de noduri echidistante prin punctele căreia se duc dreptele paralele axei OZ. Aceste drepte intersectează suprafața dintelui roții plane și a spirei melcului, în două puncte $P_r(x_r, y_r, z_r)$ și respectiv, $P_m(x_m, y_m, z_m)$, având numai ordonatele z_r și respectiv z_m , diferite. Pentru fiecare pereche de puncte de intersecție dintre cele două suprafețe și dreptele paralele duse prin nodurile rețelei de puncte definite în planul OXY, se calculează distanța cu semn dată de relația:

$$(1) \quad d_{min} = \min\{d = z_r - z_m, \text{ pentru fiecare nod al rețelei}\}$$

Se are în vedere faptul că rețeaua de noduri este astfel definită încât să corespundă contactului posibil. Distanța d_{min} , constituie deplasarea căutată a suprafeței spirei melcului piesă, astfel încât aceasta vine în contact cu suprafața fixă a dintelui roții plane.

Suprafețele se consideră aduse în contact, astfel că pentru fiecare nod al rețelei se determină distanța corijată:

$$(2) \quad d_{corij} = d - d_{min}$$

Funcție de intervalul căruia îi aparține una dintre distanțele corijate considerată, se clasează color punctele de intersecție cu suprafețele considerate într-o matrice, astfel încât se obține o hartă color aferentă distanței dintre suprafețe, de-a lungul axei OZ. S-a întocmit un program de calcul automat, care permite determinarea petei de contact dintre cele două suprafețe aflate în angrenare sub forma unei hărți color a distanței dintre suprafețe (Fig. 7). Pata de contact trasată pe flancurile dintelui roții plane, corespunzătoare celor două sensuri de rotație ale melcului piesă corijat este redată în figura 8.

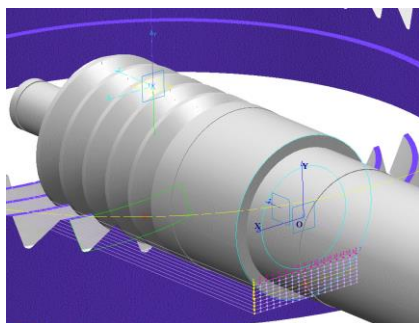


Fig. 6 Metoda dreptelor paralele, adaptată modelării și simulării petei de contact la mersul în gol.

Matricea punctelor de pe suprafața melcului și roții plane
 $M = \text{segment}(D1c, D2c, D3c, D4c, D5c, D6c, D7c, D8c)$

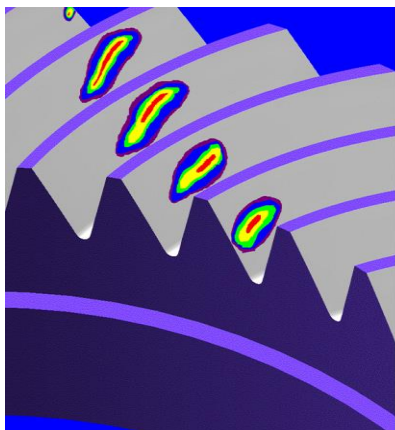
	0	1	2	3	4	5	6	7
M	2.2924201	2.2684511	2.2433312	2.2180514	2.1926215	2.1670416	2.1413117	2.1154318
1	2.6912134	2.5879214	2.4846314	2.3813414	2.2780514	2.1747614	2.0714714	1.9681814
2	2.6912134	2.5879214	2.4846314	2.3813414	2.2780514	2.1747614	2.0714714	1.9681814
3	1.1891013	1.4366013	1.6841013	1.9316013	2.1791013	2.4266013	2.6741013	2.9216013
4	1.6542714	0.9237813	0.1932912	0.6628012	0.8113112	0.9598212	0.1283312	0.9983412
5	1.6542714	0.9237813	0.1932912	0.6628012	0.8113112	0.9598212	0.1283312	0.9983412
6	0.1327013	0.2802113	0.4277213	0.5752313	0.7227413	0.8702513	0.1327613	0.1802713
7	0.1327013	0.2802113	0.4277213	0.5752313	0.7227413	0.8702513	0.1327613	0.1802713

Localizarea punctelor pe suprafața melcului și roții:

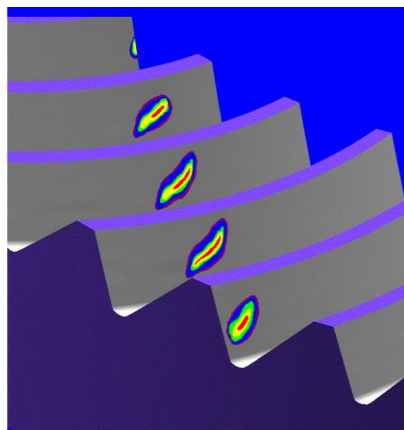
Curba de nivel 0.0005: culoare: ■ Condiția: $c(x) = 0 < x < 0.0005$
 Subrutina de localizare a punctelor:
 $Locate(M, c) :=$
 $L := 0$
 For $m \in 0..rows(M) - 1$
 For $n \in 0..cols(M) - 1$
 If $c(M_{m,n}) = 1$
 $L := \begin{pmatrix} m \\ n \end{pmatrix}$
 $i := i + 1$
 L

Coloanele matricei L conțin locația (randul și coloana) punctelor din matricea M care satisfac condiția c $J_m := Locate(M, c)$ $J_m = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$

Fig. 7 Fragment din programul MathCAD, de calcul și simulare a petei de contact la mersul în gol.



PATA DE CONTACT
FLANC CONCAV ROATA PLANA
rotatie melc - sens stanga



PATA DE CONTACT
FLANC CONVEX ROATA PLANA
rotatie melc - sens dreapta

Fig. 8 Simularea petei de contact pe flancurile dinților roții plane la mersul în gol ($i_{12} = 45:1$, $a = 57,15$ mm, sistem stânga).

3. Concluzii

Metoda de simulare a contactului la mersul în gol permite urmărirea modului de propagare a contactului și evitarea contactului de muchie încă din faza de proiectare a angrenajului. Pata de contact reală, sub sarcină, poate să difere de cea calculată la mersul în gol, în vederea simulării acesteia fiind necesare investigații suplimentare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Napău, I-D., *Contribuții privind modelarea, simularea și experimentarea angrenajelor melc-roată plană cu contact localizat*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Octombrie, 2005.
- [2] Litvin, F.L., Fuentes, A., *Gear Geometry and Applied Theory-second Edition*, Cambridge University Press, 2004.
- [3] Mătieș, V., Napău, I-D., Napău-Stoica, R., Napău, I., Napău, M., , *Simulation of Bearing Contact Localization in Worm-Face Gear Drive*, Proceedings of Twelfth International Scientific Technical Conference "trans&MOTOAUTO'05+", 23-25 November, Veliko-Tarnovo, Bulgaria,

Vol. III, pp. 181-184, 2005.

- [4] Hoehn, B.R., Steingroever, K., Lutz, M., *Determination and Optimization of the Contact Pattern of Worm Gears*, Gear Technology, March/April, pp. 12-17, 2003.

Dr.-Ing. Ileana-Dacia NAPĂU, profesor Colegiul Tehnic "Ion D. Lăzărescu" Cugir, membru AGIR.
ndacia@yahoo.com

Dr.-Ing. Dipl.-Math. Ioan NAPĂU, engineering specialist, Stellantis North America, membru AGIR.

Dr.-Ing. Dipl.-Math. Mircea NAPĂU, engineering specialist, Fischer Dynamics MI, US, membru AGIR.