

POSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A MATERIALELOR PLASTICE PERFORMANTE LA TRANSMISII MECANICE CU ANGRENAJE

ing. EBERST OTTÓ - S.C.ICPM S.A. BAI A MARE
ing. POP SEVER - S.C. ICPM S.A. BAI A MARE
Dr. ing. KALÁCSKA GÁBOR - SZIE GÖDÖLLŐ

ABSTRACT In the hereby work it is presented the analyses of using high quality plastics in the manufacturing of gears. There are presented the main types of industrial plastics, pointing out its features, which are connected to the gears design.

The work is concluded with the presentation of a practical, real application, using a plastic material for the construction of a spiral wheel.

1. INTRODUCERE

Materialele plastice performante au o serie de proprietăți fizico-mecanice avantajoase, care fac posibilă folosirea lor la diverse tipuri de angrenaje.

Dintre aceste proprietăți amintim doar câteva:

-caracteristici mecanice bune (rezistență la întindere-compresiune, duritate, tenacitate);

-rezistență la oboseală și la șocuri mecanice ;

-capacitate de amortizare mecanică;

-proprietăți bune de alunecare și antifricțiune;

-rezistență bună la uzură;

-prelucrabilitate bună prin așchiere (strunjire, frezare, mortezare, filetare).

Materialele plastice care prezintă proprietățile enumerate anterior și care sunt pretabile pentru confecționarea de angrenaje sunt următoarele:

-poliamidele (PA, ERTALON, TERAMID);

-poliacetalii (POM,ERTACETAL);

-polietilentereftalatii (PETP, ERTALYTE).

Aceste tipuri de materiale sunt recomandate la angrenaje unde, pe lângă satisfacerea condițiilor de rezistență mecanică, sunt importante și următoarele aspecte:

- funcționarea lină și silențioasă;
- rezistență bună la coroziune și agenți chimici;
- rezistență la uzură (cu sau fără ungere);
- rezistență la șocuri;
- greutate redusă;
- prețul de cost al produsului.

2. DIMENSIONAREA ANGRENAJELOR

Pentru dimensionarea angrenajelor din materiale plastice se poate utiliza relația lui Lewis:

$$P = \frac{m \cdot y \cdot b \cdot d \cdot n \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \sigma}{6 \cdot 10^6} \text{ (kw)},$$

în care:

P - puterea transmisă de angrenaj

m - modulul (mm)

y - coeficient de profil al dintelui (tab.1)

b - lățimea activă a danturii (mm)

d - diametrul de divizare (mm); $d = m \cdot z$

z - numărul de dinți

n - turația (rot/min)

f_1 - factor de viteză: $f_1 = \frac{0,75}{1 + v} + 0,25$

v - viteza periferică pe diametrul de divizare (m/s)

σ - rezistența admisibilă (N/mm^2) (tab.2)

f_2 - factor de serviciu (tab.3.)

Tabelul 1. - Coeficientul de profil al dintelui pentru roți cilindrice $\alpha = 20^\circ$

z	14	17	21	25	30	40	50	60	75	100	150	300	∞
y	0,14 9	0,16 3	0,17 5	0,18 4	0,19 3	0,21 0	0,22 2	0,22 7	0,23 4	0,24 1	0,24 8	0,25 5	0,26 2

Tabelul 2. - Valorile admisibile ale lui σ (N/mm^2), pentru roata dințată din plastic pe roata metalică, în condiții normale (umiditate $\text{EH} \cong 50\%$)

Tipul materialului	Temperatura ($^\circ\text{C}$)						
	Fara ungere			Cu ungere continua			
	20°C	50°C	80°C	20°C	50°C	80°C	100°C
ERTALON 6 S	18	14	10	27	21	15	9,5
ERTALON 66 SA 6 PLA 6 XAU	22	17,4	13	33	26,5	19,5	13
ERTALON (PA) 11 SA	14	10	6,5	21	15	9,5	7
ERTACETAL (POM) ERTALYTE (PETP)	20	16	12	30	24	18	12

Tabelul 3. - Factorul de serviciu f_2

Tipul materialului	Conditii de utilizare*	
	1	2
ERTALON (PA) 6 SA și 11 SA	1	0,9
ERTALON (PA) 66 SA, 6 PLA și 6 XAU+, ERTACETAL (POM)	1	0,7
ERTALYTE (PETP)	1	0,5
* 1-normale, 2-dinamice		

Observații:

-Relațiile de calcul prezentate anterior se referă la angrenaje folosite permanent și în condiții de sarcină maximă. În practică, este recomandat să se țină cont de faptul că majoritatea angrenajelor funcționează în regim nepermanent și la o putere mai mică decât puterea nominală a motorului de acționare.

-În cazul în care condițiile reale de utilizare ale angrenajului nu pot fi modelate cu exactitate prin relații de calcul, se recomandă efectuarea de testări pentru a se stabili cel mai potrivit material pentru execuția angrenajului.

-Pentru a obține o funcționare silențioasă, roțile dințate metalice au deseori dantură înclinată. Dacă condițiile de rezistență o permit, în locul acestor roți se pot utiliza roți dințate din material plastic, care au o capacitate bună de amortizare ce duce la reducerea semnificativă a zgomotelor din angrenaj. Relațiile de calcul pot fi folosite cu mici "adaptări" și în cazul roților dințate cilindrice cu dantură înclinată sau a roților dințate conice.

La angrenajele melcate, relațiile de calcul sunt mai complexe, pentru că în acest caz apar alunecări mari între melc și dinții roții melcate, chiar dacă sarcina și viteza periferică nu sunt mari.

-Pentru a preveni tensiunile ce apar la baza dinților se recomandă executarea unei raze de racordare de cel puțin $0,2 \times$ modulul. În caz contrar, pot apărea fisuri în zonele respective, care se propagă apoi în întreaga masă a materialului. În cazul roților dințate care funcționează în mediu umed sau în imersie, se recomandă folosirea de materiale plastice cu absorbție redusă de umiditate (POM, PETP).

Valorile maxime ale temperaturilor admisibile pentru diferite tipuri de materiale sunt prezentate în tabelul 4.

Tabelul 4. - Temperaturi admisibile pentru roți dințate ce lucrează în regim continuu

Tipul materialului	Fără ungere în condiții normale ($RH \cong 50\%$)	Cu ungere continuă
ERTALON (PA) 6 SA, 11 SA	80°C	120°C
ERTALON (PA) 6 PLA, 6 XAU+,66 SA ERTALYTE (PETP)	90°C	120°C

3. PRESCRIȚII DE PROIECTARE

Jocul la dinți

Materialele plastice au un coeficient de dilatare termică mai mare decât metalele și pot să și absoarbă umiditate în funcționare.

De aceea, în cazul angrenajelor din materiale plastice trebuie prevăzut un joc mai mare ca în cazul celor metalice. Acest lucru se poate face în două moduri:

a) În cazul distanței axiale fixe

La execuția roților, diametrul de cap teoretic se va micșora cu valoarea Δd_k (fig.1), care va compensa mărirea diametrului roților în anumite condiții de utilizare. Înălțimea dinților nu trebuie să fie mai mică ca și valoarea teoretică.

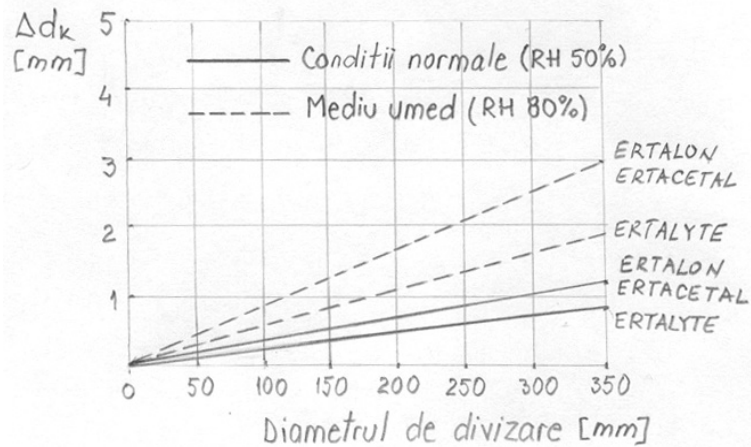


Fig.1. Factorul de corecție al diametrului roții dințate

b) În cazul distanței axiale reglabile

Roțile dințate se vor executa la cotele teoretice, însă distanța axială se va mări cu Δa :

$$-\Delta a = \frac{\Delta d_k}{2} \quad (\text{mm}) - \text{pentru metal/plastic};$$

$$-\Delta a = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2}{2} \quad (\text{mm}) - \text{pentru plastic/plastic},$$

în care:

Δa - creșterea distanței axiale

Δd_k - creșterea diametrului

ALEGEREA MATERIALELOR ROȚILOR ÎN CONTACT

a) metal/ plastic

Este varianta cea mai avantajoasă, deoarece căldura rezultată din frecare se poate disipa ușor.

Este recomandat ca roata metalică să fie tratată termic (pentru a micșora uzura ambelor roți), însă nu e necesar să fie rectificat flancul dinților.

b) plastic/plastic

În acest caz disiparea căldurii se face mai anevoios, deci temperatura în zona de angrenare va fi mai mare ca și în cazul anterior și vor rezulta modificări dimensionale. Se recomandă numai pentru sarcini relativ mici, în combinația PA/POM sau PA/PETP.

UNGEEA

Angrenajele cu roți dințate din materiale plastice pot funcționa și fără ungere în condiții corespunzătoare, însă pentru micșorarea uzurilor și mărirea sarcinii se recomandă ungerea acestora.

Ca și regulă generală, ungerea trebuie să se facă cel puțin înainte de montaj, pentru a se asigura și un “rodaj” mai bun.

4. PRESCRIPTII DE MONTAJ

Pentru roțile dințate montate direct pe ax, momentul se transmite de obicei prin intermediul unor pene. La momente mai mari, poate fi necesară utilizarea de mai multe pene. Nu se recomandă utilizarea penelor înclinate (cu nas) din cauza fenomenului de relaxare a materialului plastic (îmbinarea își face joc) - vezi fig.2.

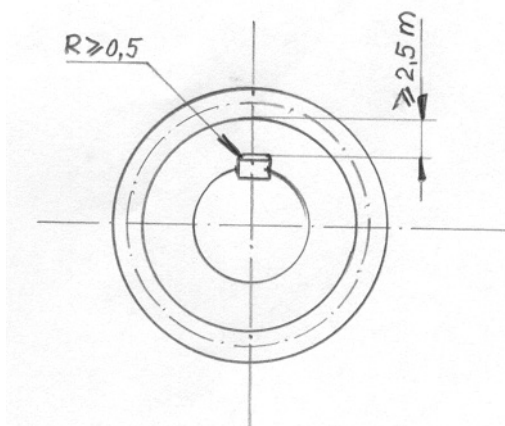


Fig.2. Îmbinare cu pană

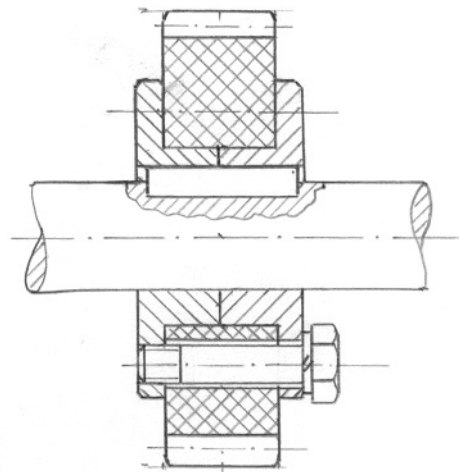


Fig.3. Îmbinare cu căptușeală metalică

Pe lângă îmbinarea cu pană, se recomandă adoptarea unui ajustaj cu strângere între roată și ax. Strângerea va fi de circa 0,1% la temperatura de lucru de 30°C și de circa 0,3% la

50°C. De obicei nu se folosesc pentru transmiterea momentului roți dințate din material plastic fixate direct pe ax.

Se pot folosi pentru transmiterea momentului îmbinări prin caneluri, dar acestea sunt relativ scumpe.

Roțile dințate din material plastic fixate cu pene pe arbore nu e bine să fie demontate și montate în mod repetat. Dacă e necesar totuși acest lucru, se va adopta soluția prezentată în fig.3.

De obicei e necesară și o fixare axială a roților dințate pe ax. În figurile 4, 5 și 6 sunt prezentate câteva astfel de soluții de fixare.

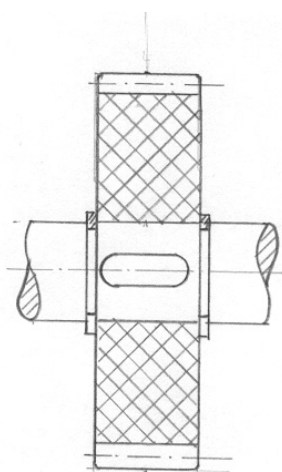


Fig.4.

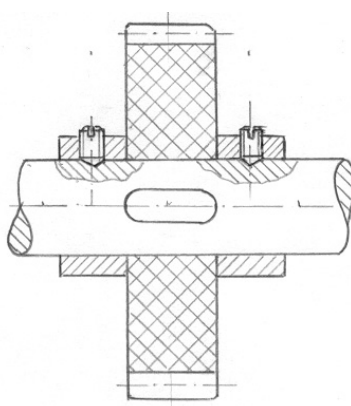


Fig..5.

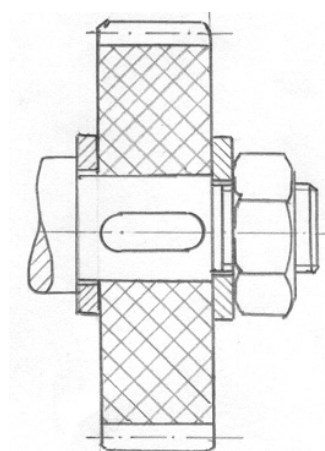


Fig.6.

Tipuri de fixări axiale

Pentru roțile dințate de dimensiuni mari se adoptă de regulă soluția coroanei dințate din material plastic fixate pe miez metalic. Strângerea și jocurile axiale recomandate sunt prezentate în tab.5.

Tabelul 5. -

Temperatura	Strângerea la 20 ⁰ C (d%)	Jocul axial la 20 ⁰ (b%)
< 40 ⁰ C	0,25	0,05
60 ⁰ C	0,45	0,20
80 ⁰ C	0,65	0,40
100 ⁰ C	0,85	0,60

Soluțiile de fixare prezentate în figurile 7 și 8 sunt recomandate pentru temperaturi ce nu depășesc 50°C, iar cea prezentată în fig.9 se pretează pentru temperaturi mai mari sau în mediu umed.

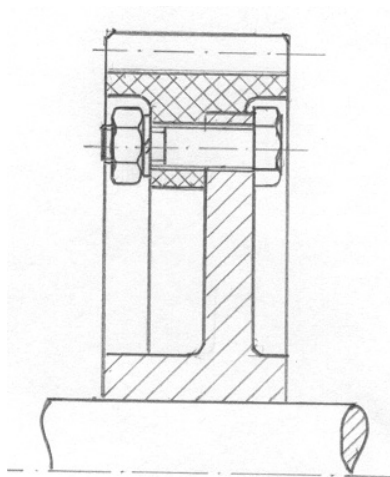


Fig.7.

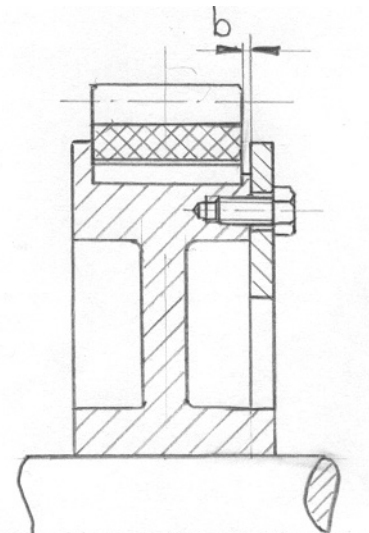


Fig.8.

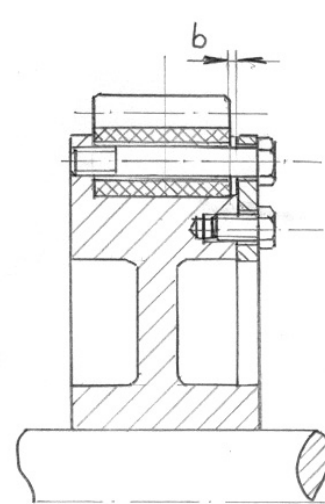


Fig.9.

Tipuri de fixare a coroanei dințate

Observații:

-razele de racordare la canalele de pană din butucul roții din material plastic trebuie să fie $R > 0,5 \text{ mm}$ pentru a nu se crea un concentrator de tensiune.

-distanța minimă între canalul de pană și fundul danturii trebuie să fie $d > 2,5 \times$ modulul.

Dimensionarea penelor în cazul roților dințate din materialul plastic se poate face cu relația:

$$h = \frac{19,1 \cdot 10^6 \cdot P}{\sigma_d \cdot l \cdot n \cdot d'} \quad (\text{mm}),$$

în care:

h - înălțimea penei (vezi fig.10)

P - puterea transmisiei (kW)

σ_d - presiunea de contact

admisibilă (N/mm^2) - vezi valorile din tabelul 6.

l - lungimea penei (mm)

d' - diametrul axului (mm)

n - turația (rot/min)

Tabelul 6. - Presiunea de contact admisibilă σ_d (N/mm^2) în condiții normale de exploatare ($\text{RH} \approx 50\%$)

Tipul materialelor	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			
	20 $^{\circ}\text{C}$	50 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$	100 $^{\circ}\text{C}$
ERTALON (PA) 6 SA	18	12,5	8,5	7
ERTALON (PA) 66 SA	20	13,5	9	7,5
ERTALON (PA) 6 PLA, 6 XAY+	22	15	10	8
ERTALON (PA0 11 SA	12	8	5,5	4,5
ERTACETAL (POM)	22	15	10	8

ERTALYTE (PETP)	30	16,5	7	4,5
-----------------	----	------	---	-----

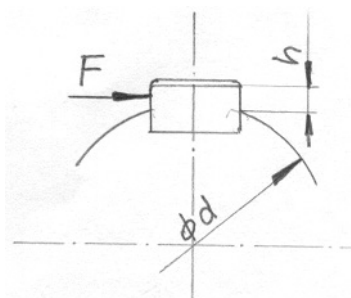
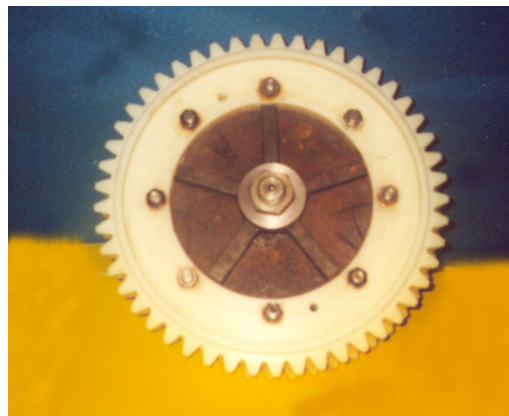


Fig.10. Pană paralelă



E posibil ca în urma dimensionării să rezulte o “înălțime” h relativ mare. În acest caz se pot adopta pene nestandardizate sau un număr mai mare de pene, dispuse la unghiuri de 180° , 120° , 90° s.a.m.d.

5. APLICATII PRACTICE

Folosindu-ne de prescripțiile de dimensionare și de montaj prezentare anterior, vom prezenta o aplicație mai deosebită, în care o coroană melcată din bronz (bz 14) a fost înlocuită cu o coroană melcată din material plastic de tip TERAMID (poliamida PA 6).-vezi imaginea de mai sus.

Angrenajul melcat în cauză servește pentru acționarea unui recipient în care se produce sulfat de cupru (CuSO_4).

Soluția originală cu coroana melcată din bronz nu a fost satisfăcătoare din punct de vedere al durabilității, lucru explicabil datorită condițiilor grele în care lucrează angrenajul, și anume: mediu cu umiditate ridicată, cu impurități (praf) și cu o ungere deficitară (din cauza accesului greu).

Materialul plastic ales pentru confecționarea coroanei dințate prezintă proprietăți avantajoase din acest punct de vedere, având o comportare mult mai bună decât bronzul în condiții grele. Durabilitatea acestuia o considerăm satisfăcătoare, pentru că în urma utilizării de circa 10 luni, nu se înregistrează uzuri semnificative, în timp ce angrenajul cu roata melcată din bronz avea o durabilitate de circa 6 luni.

Totodată, prețul de cost al coroanei melcate din TERAMID este mai mic cu circa 45% decât al coroanei melcate din bronz.