# Aplicația AEF-A.12

# Arcuri elicoidale solicitate la torsiune

#### **CUVINTE CHEIE**

Analiza statică liniară, Material liniar, Model geometric 1D, Element finit 1D, Element finit liniar, Modelare geometrică în CATIA, Verificare prin metode clasice, Element de mașină, Arc elicoidal solicitarea la torsiune Model geometric în CATIA

#### **CUPRINS**

- A. DESCRIEREA PROBLEMEI
- B. MODELUL DE AEF
  - C. PREPROCESAREA MODELULUI DE AEF
- D. REZOLVAREA MODELULUI DE AEF
- E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR
- F. ANALIZA REZULTATELOR
- G. CONCLUZII

### A. DESCRIEREA PROBLEMEI

#### A.1 Introducere

Există în componența multor produse tehnice componente mecanice care au structuri compacte distincte cerute de funcția principală de îndeplinit. Reprezentative acestui grup de componente sunt elementele elastice (arcurile), elementele de amortizare, elementele de susținere (carcase) etc. Specificul acestor elemente, de regulă, este dat de legăturile fixe sau cvasifixe ale acestora cu părțile învecinate. Analiza cu elemente finite a acestor componente, pentru obținerea de rezultate precise, presupune definirea cu acuratețe a modelului solid, a restricțiilor impuse de legăturile cu elementele învecinate, precum și a încărcărilor.

#### A.2 Descrierea aplicației

Arcurile sunt elemente de mașini care, datorită formei și proprietăților elastice ale materialelor, înmagazinează lucrul mecanic al forțelor exterioare, la deformare, și îl restituie, cvasitotal sau parțial, în perioada de revenire la forma inițială.

Aceste arcuri cilindrice elicoidale sunt confecționate din sârmă rotundă cu diametrul constant. Introducerea forței sau a momentului de torsiune se produce prin brațul de la începutul și capătul fiecărui arc.

Aceste arcuri au o caracteristică lineară a momentului de torsiune și pot fi executate prin formare la rece sau la cald. Pot exista diverse forme constructive, prezentate în figura alăturată. Pot fi utilizate în diverse aplicații, unele fiind prezentate în imaginile de mai jos.



#### A.3 Scopul aplicației

În cazul acestei aplicații se prezintă analiza câmpurilor deplasărilor, deformațiilor și tensiunilor unui element elastic de tip bară curbă din componența dispozitivelor prezentate mai sus. Valorile parametrilor geometrici ai arcului sunt: d = 2,5 mm - diametrul spirei;  $D_m = 50 \text{ mm}$  - diametrul mediu; n = 8,5 spire;  $\Delta = 0,5$  - mm distanța dintre spire.

### **B. ÎNTOCMIREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ**

#### B.1 Definirea modelului pentru analiză

Pentru întocmirea modelului de analiză cu elemente finite asociat aplicației de mai sus se impune identificarea:

- formei și dimensiunilor geometrice,
- restricțiilor induse de legăturile cu elementele adiacente,
- încărcărilor exterioare și interioare (greutate proprie),
- caracteristicilor materialului.

#### **B.2 Descrierea modelului pentru analiză**

Forma geometrică și dimensiunile arcului sunt prezentate în fig. a iar modelul de analiză în fig. b. Parametrii geometrici și valorile acestora sunt:

Element rigid

d = 2,5 mm - diametrul spirei;  $D_m = 50$  mm - diametrul mediu; n = 8,5 spire;  $\Delta = 0,5$ 

- diametrur mediu, n = 0.5 spire,  $\Delta = 0$ 

mm, jocul dintre spire.

Tipul zonei de sprijin (reazem) și numărul spirelor din această zonă: cârlige exterioare simetrice; raza de racordare, r = 2d; raza de acțiune a forței de încărcare,  $R = D_m/2 + r$ .



Cupla de

rotatie

Arcurile elicoidale de torsiune sunt executate din oțel de arc, 50VCr11A, tratat la 50-55 HRC prin tratament termic de călire și revenire. Pentru analiza cu elemente finite caracteristicile de rezistență ale materialului, oțel 50VCr11A sunt:

- modulul de elasticitate longitudinală,  $E = 209000 \text{ N/mm}^2$ ;
- coeficientul contracției transversale (Poisson), v = 0,3;
- se neglijează efectul forței de greutate, ținând seama de greutatea relativ mică a arcului
- temperatura de lucru 20° C

## C. PREPROCESAREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ

C.1 Activarea și salvarea proiectului
<u>Activarea proiectului</u>
∧, Toolbox : , $\Box$ Analysis Systems → , , $\Box$ Static Structural (apare automat fereastra subproiectului); → [se poate
schimba denumirea Static Structural în Arc torsiune ].
<u>Setarea tipului problemei (3D)</u>
A : L 🦃 Geometry $\rightarrow$ Properties $\rightarrow$ Properties of Schematic A3: Geometry , E Advanced Geometry Options : Analysis Type , [se
selectează din listă cu $\downarrow \square$ , $\downarrow 3D$ ] $\rightarrow$ [se închide fereastra $\downarrow \blacksquare$ ].
Salvarea proiectului
$\downarrow \mathbb{R}$ Save As $\rightarrow \bigwedge$ Save As, File name: [se introduce denumirea, AEF-A.12] $\rightarrow \downarrow$

C.2 Modelarea caracteristicilor materialului	
Modificarea valorii modulului de elasticitate	
$\Lambda$ , Project Schematic: L, Engineering Data A $\rightarrow$ , Edit $\rightarrow$ Outline of Schematic A2: Engineering Data	а.
🚽 🗞 Structural Steel , Properties of Outline Row 3: Structural Steel 🕙 🖂 Isotropic Elasticity 🛶 Young's Modulus , Young's Modulu	s,
[se selectează în lista din coloana C (Unit) cu المجامع, [se introduce în caseta din coloana B (Unit) valoare	a,
209000] $\rightarrow \downarrow \checkmark$ Update Project $\rightarrow \downarrow \bigcirc$ Return to Project (ceilalți parametri rămân impliciți).	



**Obs.** Se repetă această comandă și pentru cealaltă extremitate a arcului, folosind punctele P4 și P5, astfel: (Plane)  $\rightarrow$  **Plane Definition**  $\rightarrow$  [Se construiește un plan paralel cu XOY, unul la distanța (Offset) de 25,5 mm față de XOY]  $\rightarrow$  OK.

Line type : Point-Point	Ann 1 Sec
Point 1: Point.2	start
Point 2: Point.3	Sterr
Support: xy plane	
Start: 0mm 🔿	Plane Definition
Up-to 1: No selection	Plane type: Offset from plane 💌 🍘
End: Omm	Deference: Vu plane
Up-to 2: No selection	
Length Type	Offset: 25.5/mm
Length O Infinite Start Point	Reverse Direction
O Infinite O Infinite End Point	
Mirrored extent	L Repeat object after OK

(Line)  $\rightarrow$  [se construiește un segment de dreaptă din extremitatea arcului de cerc realizat anterior în punctul P5]  $\rightarrow$  Line Definition  $\rightarrow$  Line type: Point to point, Point 1: Point.4, Point 2: Point.5, Support: Plane.1  $\rightarrow$  OK.

(Corner)  $\rightarrow$  [se racordează cu raza de 5 mm elicea de pas 3 mm cu segmentele P1P2 și P4P5]  $\rightarrow$  Corner **Definition**  $\rightarrow$  Circle type: Center and point, Center: Point.2, Point: Point.1, Support: xy plane, Start: 0 deg, End: 90deg  $\rightarrow$  OK

<u>Unirea celor cinci segmente ale arcului</u>

(Join)  $\rightarrow$  **Join Definition** [se selectează Helix.1, Circle.1, Line.1, Circle.2, Line.2]  $\rightarrow$  OK.



Salvarea modelului geometric

Se va salva sub denumirea și formatul următor Arc de torsiune-1D.igs

**Obs.** Modelul generat în CATIA v5R21 ca model 1D. Fișierul rezultat, salvat în formatul specific al software-ului CATIA (*.catpart*), se va salva sub extensia unui format universal de transfer (*.igs*). *C.3.2 Importarea modelulu* 

Join Definition	<u>? ×</u>
Elements To Join	
Line.1 Cirde.1 Helix.1 Cirde.2 Line.2	
Add Mode	Remove Mode
Parameters Federation	Sub-Elements To Remove
Check tangency Check	connexity 🧧 Check manifold
Merging distance	0.001mm
Angular Threshold	0.5deg
ок	Cancel Preview
i geometric al arcului	

**∧**, Toolbox  $\vdash$  Geometry  $\bigcirc$  Import Geometry  $\rightarrow$  Browse  $\rightarrow$  (se navighează în structura de directoare a HDD-ului și se identifică fișierul *Arc de torsiune-1D.igs*)  $\rightarrow \dashv$  (OK); <u>Setarea unității de măsură</u>

∧, Toolbox L, L, 🖗 Geometry ? .

Încărcare fișier cu modelul geometric

 $(OK) \rightarrow \textcircled{OK} \rightarrow \not{i}$  Generate

**?**  $\rightarrow$  ANSYS Workbench: Select desired length unit: • Millimeter  $\rightarrow \leftarrow$ 









## D. REZOLVAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE

D.1 Selectarea rezultatelor		
În vederea selectării tipurilor de date finale ce urmează a fi analizate după lansarea modulului de calcul, se va		
urma seria de comenzi prezentată mai jos.		
$[M]$ , Outline : L, $\oplus$ $?$ Solution (A6) $\rightarrow$ $\Box$ Insert $\rightarrow$ $\Box$ Deformation $\rightarrow$ $\Box$ $?$ Total		
$\downarrow \sim \sqrt{2}$ Solution (A6) $\rightarrow \sim 2$ Deformation $\sim \rightarrow \sim 2$ Directional		
Obs. Pentru acest tip de structură, se poate aplica instrumentul Beam, în scopul de a vizualiza tensiunile		
liniarizate pe elementele componente. Se obișnuiește, în procesul de proiectare a structurilor din bare, să se țină		
cont de componentele tensiunilor axiale care provin din efectul sarcinilor axiale și de încovoiere pe toate		
direcțiile în parte.		
$\Box = 2$ Solution (A6) $\rightarrow \bigcirc$ Tools $\checkmark \rightarrow \bigcirc$ Beam Tool		
$\downarrow$ Solution (A6) $\rightarrow$ Beam Results $\neg$ $\rightarrow$ $2^{\circ}_{r}$ Axial Force		
$\downarrow \neg \checkmark \bigcirc \bigcirc$		
$\downarrow \neg \not \otimes $ Solution (A6) $\rightarrow $ $ \otimes_{r} $ Beam Results $ \rightarrow $ $ \otimes_{r} $ Torsional Moment		
$\downarrow$ Solution (A6) $\rightarrow$ $\mathfrak{G}_{r}$ Beam Results $\bullet$ $\rightarrow$ $\mathfrak{G}_{r}$ Shear Force		
D.2 Lansarea modulului de rezolvare a modelului		
$[\mathbf{M}]_{\mathbf{M}}$ Outline $\mathbf{M}_{\mathbf{M}}$ Solution (A6) $\mathbf{M}_{\mathbf{M}}$ Solve		
E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR		

E.1 Vizualizarea câmpului de deplasări
Pentru a obține rezultate sugestive, se va seta scala de vizualizare din barele de meniuri:
Result 8,6e+002 (Auto Scale) ▼ → Result 1.0 (True Scale) ▼
Vizualizare deformației totale
$\square$ Outline: $\square^{\pm}$ Solution (A6) $\rightarrow \sqrt{2}$ Total Deformation $\rightarrow$ Graph $\rightarrow$ Animation $\triangleright$ $\blacksquare$ . Dacă imaginile nu sunt
destul de sugestive, în ceea ce privește modul de deformație a piesei, se poate reveni la modificarea scalei de
vizualizare, selectând o valoare superioară; Result 1,7e+003 (2x Auto)
Se pot utiliza diverse forme de reprezentare a stării deformate, apelând butonul 🦉 (Edge). Se va selecta Show
<i>Underformed WireFrame</i> , opțiune care afișează în aceeași reprezentare modelele nedeformat și deformat.
Pot fi modificate caracteristicile de de vizualizare: numărul de cadre <sup>10 Frames</sup> , precum și timpul de
rulare a simulării <sup>2</sup> Sec (Auto) . Totodată, rezultatul poate fi salvat și sub formă de fișier video prin
utilizarea comenzii Export Video File 🌇.
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1 18.03.2014.15:45
- 0,16654 Max
0,14804
- 0,12953 Z
- 0,11103
- 0,092523
0,074018
0,055514
0,037009
Vizualizare deformației pe o anumită direcție
$\mathbf{M}$ , Outline: $\mathbf{M}^{\pm}$ <b>Solution (A6)</b> $\rightarrow \mathbf{M}^{\pm}$ Directional Deformation $\rightarrow$ Graph $\rightarrow$ Animation $\mathbf{P}$





### F. ANALIZA REZULTATELOR

#### F.1 Interpretarea rezultatelor

Se observă că, în pofida faptului că modelarea arcului a fost efectuată cu ajutorul unui corp 1D, rezultatele obținute sunt sugestive, fiind prezentate într-un mediu 3D.

Din punct de vedere al deformațiilor totale, se observă că valoarea maximă este de 166 mm, corespunzător extremității segmentului din zona de acționare.

Se observă că zonele cu eforturi mari de forfecare și de încovoiere sunt cele corespunzătoare zonelor de racord între elicea arcului și segmentul de dreaptă.

Informațiile referitoare la deformații, coroborate cu informațiile referitoare la tensiunile interne, tensiunile maxime combinate conduc la concluzia că arcul rezistă fără probleme sarcinilor, valorile tensiunilor maxime nedepășind  $6,5 \ge 10^8$  Pa, valoare sub limita admisă a materialului. O atenție sporită trebuie avută la racordările de la ieșirea din elicea arcului, la ambele capete, aceste două zone fiind concentratori importanți de tensiuni.

#### F.2 Prezentarea rezultatelor obținute prin metoda clasică

Pe baza datelor constructive ale arcului prezentate în subcap. B.2, se calculează deplasarea și rigiditatea pentru o solicitare M = 1.000 Nmm. Se obțin următoarele valori:

$$\theta_{n} = \frac{64 M_{tn} D_{m} n}{E d^{4}} = 213,14 \text{ grade}$$

Nmm/grad

$$k = \frac{E d^{2}}{64 D_{m} n} \frac{180}{\pi} = 4,7$$

#### F.3 Studii pentru proiectare

Comparând rezultatele obținute prin metoda clasică și MEF, se poate constata că acestea sunt comparabile, cel puțin în cazul deplasării unghiulare, caz care a fost calculat clasic, metoda elementelor finite oferind mult mai multe date, într-un timp și cu consumuri de resurse mult mai mici.

Se poate constata că arcul este solicitat foarte puternic în zona racordului, la ieșirea din elice spre extremități. Modificarea acestor zone și recalcularea prin MEF se realizează într-un timp foarte scurt, fiind o procedură facilă. Pe de altă parte, se poate modifica foarte ușor modelul pentru analiză, putând schimba reazemele și solicitările foarte ușor. În cazul geometriilor importate din alte programe de modelare, va trebui modificat modelul geometric în software-ul inițial, ceea ce va conduce la reluarea procedurii de la început.

De exemplu, modelul pentru analiză poate fi modificat prin introducerea unei constrângeri suplimentare, reprezentată prin obligativitatea ca segmentul final al arcului aflat în zona de solicitare a momentului (forței) sa se deplaseze într-un plan. Acest lucru arată că arcul nu va suferi deformații pe axa Oz.

🔯 Outline 🔄 🗄 🖓 🖨 Static Structural (A5) - 🍳 Supports 🗸 - 🖓 Remote Displacement - Details of "Remote Displacement"

→ Scope → Geometry: [se va selecta cu  $\downarrow$  extremitatea segmentului de capat al arcului aflat la cota 0 mm, folosind opțiunea (Vertex)] → Apply → Definition → X Component: Free, Y Component: Free, Z Component: 0, Rotation X: 0, Rotation Y: 0, Rotation Z: Free (fig. a).

Rezultatele obținute pentru *Directional Deformation (X Axis)* precum și pentru *Maximum Combined Stress* sunt prezentate în fig. b și c.



**Obs.** Rezultatele sunt cvasiidentice cu cele obținute în exemplul anterior. Acest lucru se explică prin faptul că, prin aplicarea unui moment prin intermediul unui *Remote Point*, se impune ca acțiunea acestei solicitări să se desfășoare doar în jurul axei Oz, deci va acționa doar într-un plan paralel cu xOy – echivalent cu constrângerea nou impusă în al doilea exemplu.

Un alt model pentru analiză poate fi considerat prin înlocuirea momentului aplicat arcului cu o deplasare impusă, de o anumită valoare unghiulară. Pentru aceasta, se va suspenda acțiunea momentului și se va introduce o deplasare unghiulară impusă.

A: APL-A.4.7. 🖸 Outline 🛛 L ---- 🖓 Moment 🛶 🔟 Suppress Static Structural  $\widehat{\mathfrak{Q}}_{\mathbf{x}}$  Supports  $\cdot$   $\rightarrow$   $\widehat{\mathfrak{Q}}_{\mathbf{y}}$  Remote Displacement Time: 1, s 18.03.2014 19:46 Details of "Remote Displacement"  $\rightarrow$  Scope  $\rightarrow$ A Fixed Support Geometry: [se va selecta cu ↓ arcul de B Remote Displacement cerc de racordare între elicea arcului și segmentul terminal de la cota 0, folosind filtrul de selectie  $\mathbb{E}$  (Edge)]  $\rightarrow$  Apply  $\rightarrow$  $\rightarrow$  X Component: Free, Y Definition Component: Free, Z Component: 0, Rotation X: 0, Rotation Y: 0, Rotation Z: -90°; Remote Displacement - Remote Point 🛄 🔍 Remote Displacement Dromote Remote Point  $\rightarrow$  $\rightarrow$ Details of "Remote Displacement - Remote Point"  $\rightarrow$  Scope  $\rightarrow$  X Coordinate = 0, Y Coordinate = 0, Z Coordinate = 0 [se vor scrie coordonatele punctului P1(0, 0, 0) realizat anterior]  $\rightarrow \frac{1}{2}$  Solve. Rezultatele obținute, pentru o deplasare impusă de -90°, sunt prezentate, în continuare.



### G. CONCLUZII

Din punct de vedere al fazei de pre-procesare, se poate observa că utilizarea corpurilor 1D implică resurse minime atât pentru modelare cât și pentru discretizare. Un alt punct forte este faptul că profilul arcului poate fi modificat / orientat foarte simplu, fără a influența forma de bază.

Introducerea reazemelor, constrângerilor și solicitărilor se realizează rapid și simplu. Declararea materialelor, precum și discretizarea sunt procese controlabile, putându-se realiza automat sau manual.

Utilizând metode clasice din *Rezistența materialelor*, rezultatele se obțin după calcule relativ simple și pot fi comparate cu cele obținute cu MEF. În schimb, prin metode clasice, se obțin foarte puține rezultate: doar deplasarea unghiulară și rigiditatea arcului.