

# CALITATEA ÎN PROIECTARE. PROIECTAREA REPERULUI "CARCASA LAGĂR" DIN PUNCT DE VEDERE STRUCTURAL ȘI TERMAL

**OTOMEGA Andreea Roxana**

Conducător științific: Conf.dr.ing. Dan Florin NITOI

**REZUMAT:** Lucrarea se referă la proiectarea cu elemente finite a reperului "Carcasă lagăr" prin metoda elementelor finite în condițiile generale actuale în care calitatea reprezintă un deziderat obligatoriu impus prin normative naționale și europene. Din acest punct de vedere, al îndeplinirii unor cerințe funcționale, piesa studiată este analizată din punct de vedere structural și termal. Pentru geometria impusă și condițiile funcționale și de montaj se prezintă concluziile rezultate ce pot îmbunătăți forma geometrică a reperului în scopul obținerii unui preț de cost mai scăzut cu respectarea rolului funcțional impus.

**CUVINTE CHEIE:** calitate, proiectare, MEF, tensiuni, temperatura

## 1 INTRODUCERE

Consumatorul a devenit tot mai pretențios în ceea ce privește calitatea produselor pe care le utilizează. Acesta este motivul pentru care firmele caută să găsească metode cât mai adecvate de a proiecta și executa produse care să răspundă cât mai mult cerințelor consumatorului [2]. Sunt eforturi tot mai mari de colectare a cerințelor consumatorului, de a le analiza și a extrage caracteristicile de calitate, atât cele exprimate de consumator cât și cele care nu au fost exprimate, dar pe care consumatorul le presupune că trebuie să existe la produs. De mare importanță sunt acele caracteristici de calitate, oferite de proiectanți produselor, pe care consumatorul nu se gândește să le găsească la produs, astfel încât este creată calitatea excitantă, care face ca produsul să fie tot mai dorit de consumator. Tot mai mult, activitatea de concepție a produselor este dirijată spre satisfacerea cerințelor consumatorilor prin fixarea unor funcții impuse a fi realizate de produs. Între metodele în care se regăsește foarte bine proiectarea cu elemente finite este metoda de proiectare axiomatică.

## 2 SCOPUL CONCEPȚIEI AXIOMATICE

Scopul concepției axiomatică este de a stabili baze științifice pentru concepția produselor și de a îmbunătăți activitatea de proiectare [5],[6]. Se dorește să facă proiectanții mai creativi, să limiteze căutările aleatorii de soluții, să minimizeze procesele iterative de determinare a soluțiilor optime, să

permită proiectanților să conceapă sisteme complexe, care să fie logice și explicite.

Concepția este activitatea care se interpune între „ce” se dorește a se obține și „cum” se realizează ce s-a dorit. O concepție riguroasă începe cu „ce se dorește să se obțină” și se termină cu o descriere clară a „cum se ajunge la ce s-a dorit”. Pentru a face aceasta, trebuie înțelese pe deplin cerințele consumatorului, care, apoi, trebuie transpuse într-un set minim de cerințe tehnice, care ulterior se vor defini ca funcții impuse (FI). Acestea descriu „ce se dorește să se obțină”. Pentru a satisface necesitățile consumatorului, descriptorii a „cum se obține ce se dorește” îi constituie așa-numiții parametri de concepție (PC). Activitățile specifice concepției sunt:

- cunoașterea și înțelegerea *cerințelor consumatorului*;
- *definirea problemei* de rezolvat care satisface necesitățile;
- conceptualizarea de soluții prin sinteză;
- efectuarea de analize care tind să optimizeze soluțiile propuse;
- verificarea rezultatelor obținute pentru a vedea dacă ele satisfac cerințele originare ale consumatorului.

Deseori, proiectanții nu stabilesc explicit „ce se dorește” și încep să conceapă soluții chiar dacă nu sunt definite funcțiile de îndeplinit. Aceasta este cauza care duce la consumuri mari de timp pentru îmbunătățirea ulterioară a soluțiilor concepute, pentru ca acestea să satisfacă cerințele consumatorului. Pentru a crește eficiența concepției

de soluții care satisfac cerințele, trebuie stabilit anterior „ce se dorește să se realizeze” și, apoi, să se înceapă activitatea de concepție. Deseori vor fi iterații între „ce” și „cum”; scopul acestor multiple iterații este de a defini cât mai clar „cum” se realizează ceea ce se dorește. Creșterea nevoilor industriale impune creșterea calității și a fiabilității produselor. Aceasta presupune creșterea capabilității de proiectare a firmelor. Firmele sunt mereu sub o presiune privind timpul de livrare a produselor, introducerea de produse noi, scăderea costurilor de fabricație și creșterea calității. Pentru a atinge aceste cerințe sunt necesare cunoștințe, imaginație, experiență și o susținută activitate de proiectare științifică.

Concepția este activitatea care se interpune între „ce se dorește” și „cum” se realizează ce s-a dorit. Sfera de activitate a concepției include patru domenii. Cele patru domenii sunt prezentate în figura 1. Domeniile sunt: domeniul consumatorului, domeniul funcțional, domeniul fizic și domeniul de fabricare a produsului. Domeniul din stânga, relativ la domeniul din dreapta, reprezintă domeniul „ce”, în timp ce domeniul din dreapta reprezintă domeniul „cum”, sau al soluțiilor.

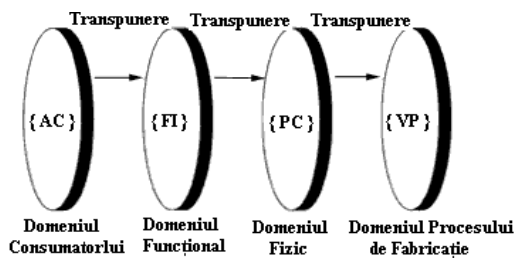


Fig. 1. Domeniile de concepție

Domeniul consumatorului este caracterizat prin definirea cerințelor consumatorului față de produs, numite și atribute consumator (AC). În domeniul funcțional, cerințele consumatorului sunt transpuse în funcții necesare de a fi îndeplinite de produs (FI), aici stabilindu-se și constrângerile (C) necesare pentru buna funcționare a produsului sau a procesului. Pentru a satisface FI trebuie stabiliți parametri de concepție (PC) în domeniul fizic. În final, pentru a materializa produsul cu respectarea PC este necesară coordonarea procesului de fabricare a produsului prin intermediul unor factori de control care se numesc variabile ale procesului (VP). Aceste variabile aparțin domeniului procesului de fabricație.

### 3 Proiectarea funcțională a reperului "Carcasă lagăr"

Produsul carcasă lagăr face parte din ansamblul denumit "Lagăr hidrodinamic", ansamblu

care are rolul funcțional de a permite și susține mișcarea de rotație a unui ax pe o pernă de ulei. Acest tip de lagăr, larg răspândit în construcția de mașini, presupune existența unui regim de ungere ideal, cu film continuu, suficient de gros și totodată autoportant. Este vorba de o gamă largă de lagăre care include: lagăre radiale, axiale, circulare, lagăre cu cuzinet continuu sau cu lobi, lagăre tip „lamâie” cu mai multe zone portante, lagăre axiale cu suprafața inelara plană sectorizată, lagăre plane sau în trepte etc.

Rolul funcțional al reperului studiat, în combinație cu unul asemănător dispus pe cealaltă parte a lagărului, este de a susține în mișcarea de rotație un ax prin intermediul unui set de rulmenți. Pentru aceasta este necesar ca produsul să îndeplinească următoarele funcții:

- să permită montarea unui rulment radial de susținere a unui ax în rotație;
- să permită montarea unui element de etanșare ce va împiedica eventualele scurgeri spre exterior dar care va împiedica, în același timp, pătrunderea spre rulment și mai departe spre interiorul ansamblului a prafului sau a altor fluide.
- pentru a realiza asamblarea cu corpul lagărului, carcasa trebuie să permită montarea a patru șuruburi ce vor realiza strângerea pe suprafața de asamblare a produsului.

Pentru a se respecta funcțiile și constrângerile impuse, produsul trebuie să fie executat dintr-un material cu proprietăți mecanice și fizice ce asigură buna funcționare a acestuia. Din acest punct de vedere, capacul trebuie să răspundă la două condiții esențiale:

1. - în timpul montajului și funcționării starea de tensiuni ce se dezvoltă în interiorul piesei nu trebuie să depășească valoarea modulului de elasticitate al materialului pentru ca forma geometrică a capacului să se încadreze în valori ce permit funcționarea normală a reperului sau chiar să evite posibile fisuri sau crăpături, piesa îndeplinindu-și rolul funcțional pentru care a fost proiectată.

2. - în timpul funcționării, datorită frecării elementelor rulmentului sau a montării defectuoase a acestuia (axa rulmentului nu este concentrică cu cea a alezajului) apar fenomene termice și anume generarea de căldură. În acest sens carcasa, prin forma, materialul și masa caracteristice nu trebuie să permită o încălzire excesivă sau să permită eventuale transformări structurale (posibile peste o temperatură de aproximativ 200<sup>0</sup> C).

Pentru a studia fenomenele prezentate, carcasa va fi analizată din două puncte de vedere:

- 1 - structural;
- 2.- termal.

### 3.1 Analiza structurală a reperului "Carcasă lagăr".

Pentru analiza structurală a piesei, s-a folosit analiza cu elemente finite implementată prin programul Ansys [1],[2]. Pentru aceasta s-a ales un element de discretizare de tip Solid 185. prezentat în fig.1.

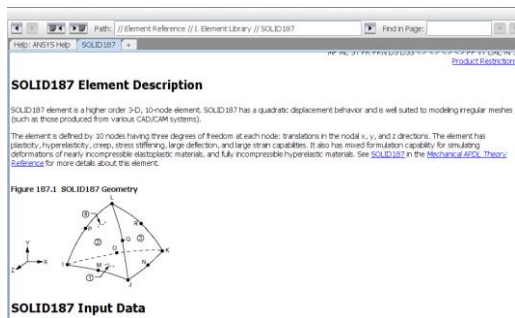
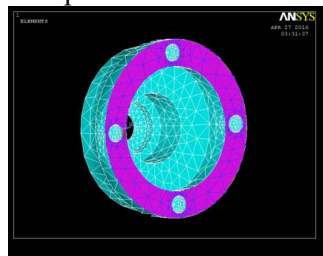


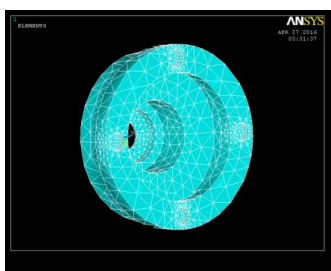
Fig. 1 Selectarea elementului de discretizare

Modulul de elasticitate al materialului din care este confecționată piesa s-a ales cel al fontei Fc200 și anume  $E = 1.25 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ .

Prima condiție de funcționare a acapacului este cea în care acesta se încastrează pe suprafața de asamblare cu corpul lagărului. Această condiție este prezentată în fig. 2a în care se selectează suprafețele și 2b în care sunt prezentate încastrările.



a.



b.

Fig. 2 Introducerea încastrărilor ca prima dată de intrare

Capacul este fixat pe corpul lagărului prin intermediul a patru șuruburi care exercită o forță de tracțiune. Această condiție este prezentată în fig.3. Se poate observa sensul forțelor de tracțiune în timp ce valoarea strângerii s-a stabilit la  $F = 200 \text{ Kgf}$  pentru

fiecare șurub, valoare aproximativ egală cu strângerile capacului de chiuloasă de la autoturisme.

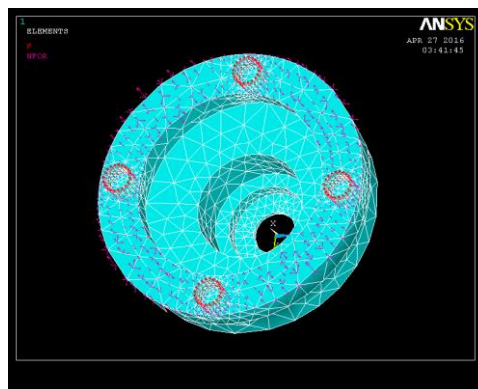


Fig. 3 Prezentarea strângerii capacului pe suprafața de asamblare

Cea de a treia dată de intrare, care este și cel mai greu de calculat este cea în care trebuie să se simuleze asamblarea cu strângere a rulmentului în carcasă. In acest sens, pe suprafața de asamblare dintre rulment și carcasă va rezulta o presiune exercitată de primul element, valoare care va fi calculată din condiția de strângere cu  $s = 5 \mu\text{m}$ .

La aceste ajustaje, diametrul arborelui înainte de montare este mai mare decât diametrul alezajului cu mărimea "S" numit strângere. La montaj, diametrul arborelui se va micșora, iar cel al alezajului se va mări, încât după montaj, suprafețele arborelui și alezajului fiind în contact, au același diametru. Strângerea efectivă a ajustajului este cuprinsă între două valori limită,  $S_{min}$  și  $S_{max}$ . In cazul asamblării studiate, ajustajul utilizat este H6/m5, de la acesta plecând toate calculele realizate.

Ajustajul cu strângere constituie o asamblare fixă, capabilă să preia un moment de torsiune sau o forță, fără elemente auxiliare ca pene, tifturi etc. Metodologia de calcul pentru acest tip de asamblare este prezentată în continuare:

- Strângerea minimă  $S_{min}$  se determină din condiția transmiterii momentului de torsiune ( $M_t$ ) sau a forței ( $F$ ), în ipoteza că suprafețele de contact nu au abateri de la forma geometrică.

$$S_{min} = p \cdot \left( \frac{C_d}{E_d} + \frac{C_D}{E_D} \right) \cdot d \cdot 10^3 [\mu\text{m}] \quad (1)$$

unde  $p$  este presiunea efectivă dintre suprafețele în contact,  $d$  – diametrul nominal al asamblării,  $E_d$ ,  $E_D$  – modulele de elasticitate ale materialelor pieselor,  $C_d$ ,  $C_D$  – coeficienți, care se calculează cu relațiile:

Titlu Lucrare

$$C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_d; \quad (2)$$

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} - \mu_D \quad (3)$$

Presiunea  $p$  se determină din condiția ca momentul de frecare  $M_f$  care se dezvoltă între suprafețele în contact să fie mai mare sau egal decât momentul de torsiune  $M_t$  de transmis ( $M_f \geq M_t$ ). La limită,  $M_t = M_f$  și presiunea  $p$  se determină cu ajutorul relației:

$$p = \frac{2M_t}{\pi d^2 l \cdot f} \quad (4)$$

Introducând datele ce corespund piesei studiate rezultă:

$d_2 = 80$  mm;  $d = 40$  mm;  $d_1 = 20$  mm;  $\mu_d = 0.28$ ;  $\mu_D = 38$

unde  $l$  este lungimea de asamblare;  $f$  – coeficientul de frecare. Dacă montajul se face la rece, asperitățile suprafețelor de montaj se vor distruge pe o anumită înălțime, având ca efect micșorarea strângerii.

Ca urmare, strângerea se corectează cu mărirea:

$$\Delta SR = 1,2 (R_{zd} + R_{zD}) \quad (5)$$

unde:  $R_{zd}$ ,  $R_{zD}$  reprezintă înălțimile medii ale asperităților pentru arbore și alezaj.

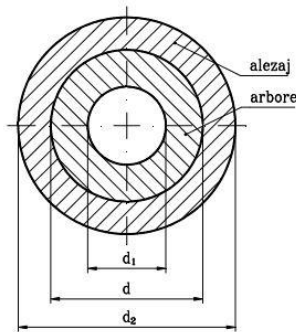


Fig. 4 Ajustajul cu strângere

Strângerea minimă efectivă va fi:

$$S_{miny} = S_{min} + \Delta SR$$

Din sistemul ISO se alege un ajustaj cu strângere, astfel încât să fie îndeplinită condiția  $S_{miny} \leq S_{min ISO}$ . Ajustajul ales va avea și o strângere maximă ( $S_{max ISO}$ ), pentru care vor fi verificate tensiunile din alezaj pentru a nu depăși tensiunea admisibilă.

$$\sigma_{t max} = p_{max} \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} < \sigma_{at} \quad (6)$$

Introducând datele ce corespund piesei studiate rezultă:

$d_2 = 80$  mm;  $d = 40$  mm;  $d_1 = 20$  mm;  $\mu_d = 0.28$ ;  $\mu_D = 38$ ;  $C_d = 1.38$ ;  $C_D = 1.28$

Presiunea ce apare la introducerea prin presare a rulmentului în capac se determină din ecuația (1). Pentru aceasta, ținând cont că asamblarea se face cu strângere, rezultă valoarea strângerii  $s = 0.05$  mm, iar presiunea dezvoltată în piesa este  $p = 9.8 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>].

Astfel, valoarea presiunii  $p = 9.8 \cdot 10^7$  va fi aplicată pe suprafața de asamblare după cum este prezentat în fig. 4.

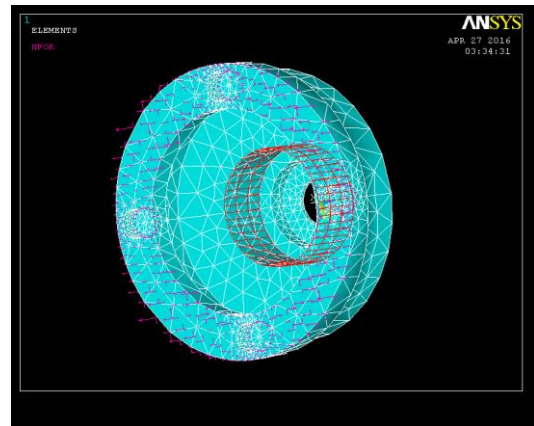


Fig. 4 Prezentarea presiunii rezultate la asamblarea cu strângere a rulmentului.

Ca urmare a introducerii datelor de intrare, programul va calcula starea de tensiuni și deplasări apărute în aceste condiții.

Astfel, în fig.5 sunt prezentate deplasările în lungul axei OX, axa de rotație a piesei. Valoarea maximă a deplasării este  $UX = 0.013$  mm, valoare suficient de mică pentru a influența modificarea rolului funcțional al piesei care în acest caz ar însemna modificarea poziției rulmentului pe această axă.

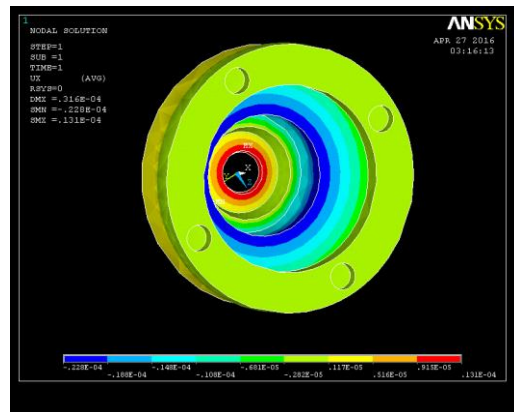
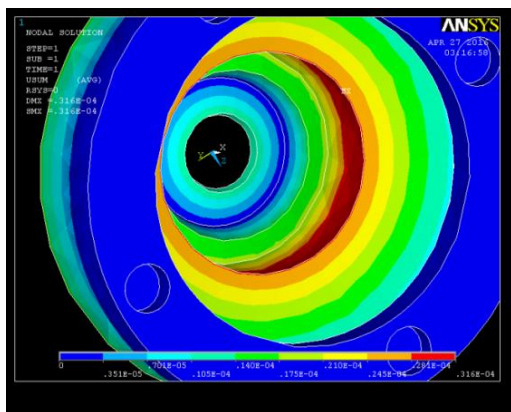
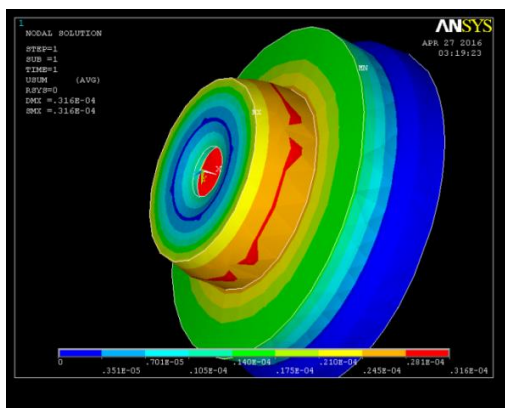


Fig. 5 Deplasările corespunzătoare axei OX

Calculul sumei deplasărilor este prezentat în fig. 6.a și b.



a.



b.

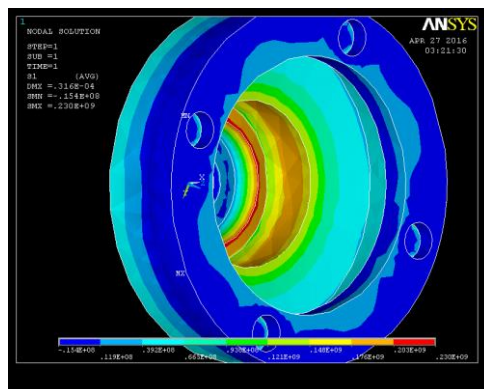
Fig. 6 Prezentarea sumei deplasărilor ca urmare a acțiunii forțelor și presiunilor asupra piesei

După cum se poate observa din fig. 6, valoarea maximă a deplasărilor apare în zona de asamblare cu rulmentul. Valoarea maximă este  $U_{sum} = 0.031$  mm, valoare apropiată de valoarea străngerii dintre piesa și rulment, valoare cu care s-a calculat mărimea presiunii.

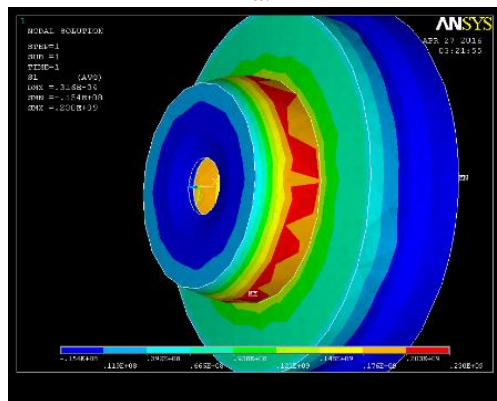
Cea de a doua categorie de rezultate se refera la calculul tensiunilor ce apar în piesa ca urmare a forțelor și presiunilor ce acționează asupra acesteia. După cum se cunoaște din literatura de specialitate, starea de tensiuni dintr-un corp nu poate fi experimentată cu ajutorul unei singure formule astfel încât, pentru aceasta sunt valabile mai multe criterii.

Prima formula de calcul a tensiunilor se referă la starea de tensiuni de tip S1, stare de tensiuni care oferă o imagine cu preponderență a tensiunilor de întindere ce acționează în corp. Astfel, tensiunile cu valoare cea mai ridicată sunt tensiunile de întindere care apar în zona în care se montează rulmentul dar nu chiar în zona de asamblare cu carcasa. Valoarea maximă a acestora este prezentată în fig. 7a și b și are valoarea  $S1_{max_{int}} = 0.23 \cdot 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>. Comparând această valoare cu cea a modului

de elasticitate al materialului se observă cum tensiunile sunt mult mai mici decât modulul lui Young aceasta însemnând o comportare elastică a structurii.



a.

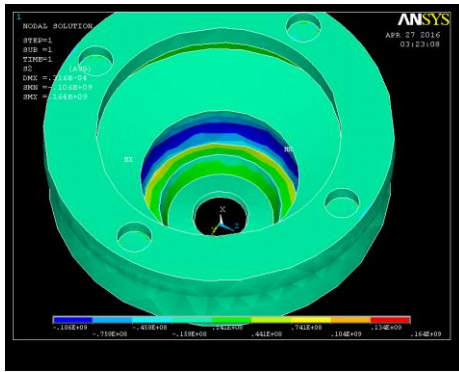


b.

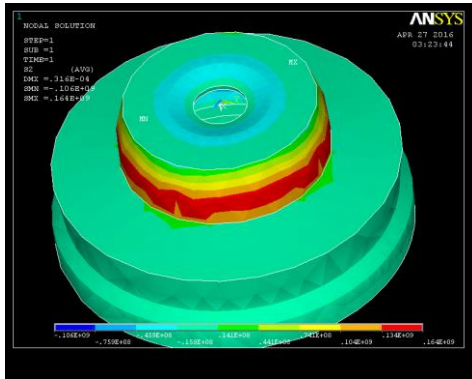
Fig. 7 Harta tensiunilor de tip S1 în volumul piesei

Un al doilea criteriu de calcul al tensiunilor este cel al tensiunilor principale de tip S2, criteriu care este cel mai echilibrat, între tensiunile de întindere și cele de compresiune. În fig. 8a și b. sunt prezentate două imagini cu harta acestor tensiuni în care se observă cum zona de montaj a rulmentului este supusă unor tensiuni de compresiune cu valoarea maximă  $S2_{max_{com}} = 1 \cdot 10^8$  N/m<sup>2</sup>, valoare mult sub modulul de elasticitate al materialului. Tensiunile de întindere cele mai mari se observă pe partea exterioară a piesei și la saltul de diametru pe partea interioară. Valoarea maximă a acestora,  $S2_{max_{int}} = 1.6 \cdot 10^8$  N/m<sup>2</sup> este, de asemenea sub a modului de elasticitate al materialului.





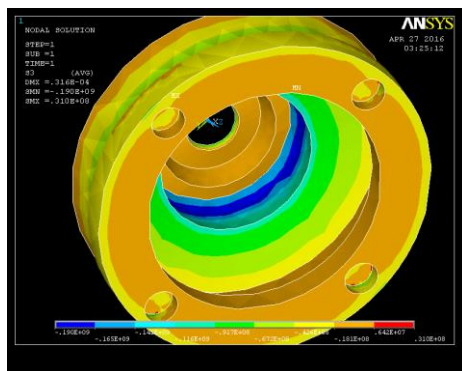
a.



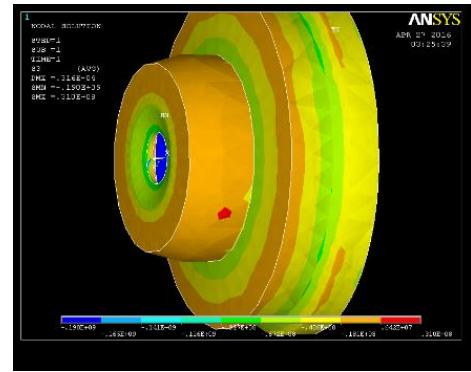
b.

Fig. 8 Calculul tensiunilor de tip S2

Tensiunile de tip S3 exprimă calculul cu preponderență a tensiunilor de compresiune ce se manifestă în piesă și a căror valoare maximă se manifestă în zona de asamblare dintre rulment și carcasă. Valoarea maximă a tensiunilor de compresiune este  $S3_{max_{comp}} = 0.19 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ , valoare aflată, de asemenea, cu mult sub valoarea modului de elasticitate care este  $E = 1.25 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ .



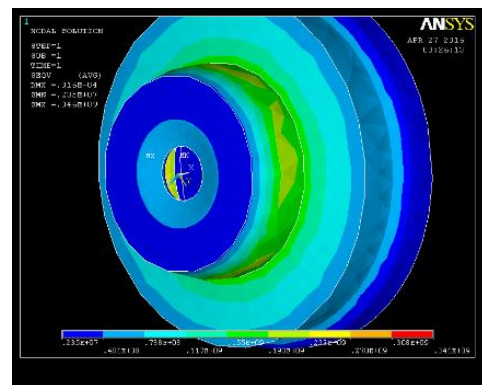
a.



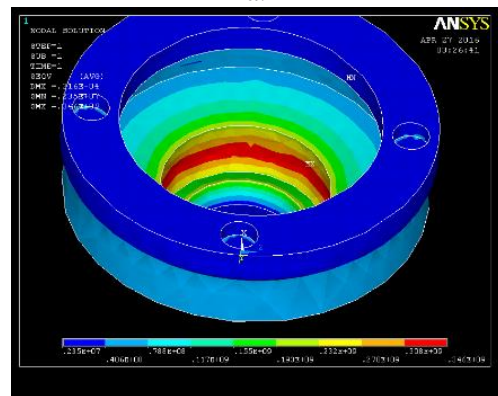
b.

Fig. 9 Prezentarea tensiunilor de tip S3

Un al patrulea criteriu de calcul al tensiunilor se referă la tensiunile Von Mises. Formula de calcul pentru acestea dă numai valorile tensiunilor, de la o valoare maximă la una minimă, fără a specifica zonele cu tensiuni de întindere și cu tensiuni de compresiune. În figura 10a și b, se observă cum valorile maxime ale tensiunilor se regăsesc în zona de asamblare dintre rulment și carcasă, valoarea maximă a acestora fiind  $VM = 0.36 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ .



a.



b.

Fig. 10 Prezentarea tensiunilor de tip Von Mises

Dacă se compară această valoare cu cea a modului de elasticitate a materialului se observă aceeași diferență mare între acestea.

### 3.2 Modelarea campului termic pentru reperul "Capac Lagăr"

Îndeplinirea rolului funcțional al reperului "Capac lagăr" presupune, în anumite condiții încălzirea acestuia ca urmare a generării de căldură în lagărul cu rostogolire (rulment) ce se introduce prin presare în interiorul acestuia. Ca rezultat a funcționării defectuoase a rulmentului, cauzat de lipsa ungerii sau a montării excentrice, acesta se poate încălzi. Din literatura de specialitate studiată, funcție de dimensiunile acestuia rulmentul poate genera o cantitate maximă de căldură  $H_{gen} = 1975 \text{ W}$ . Căldura astfel generată se transmite prin conducție în tot volumul piesei pentru ca mai apoi prin convecție să aibă loc schimbul de căldură cu mediul înconjurător. Temperatura mediului înconjurător a fost definită  $T_{med} = 20^{\circ}\text{C}$ .

Rezultatul analizei termice indică o creștere a valorii temperaturii în special în zona asamblării cu rulmentul la valoarea  $T = 23.4^{\circ}\text{C}$  o creștere de temperatură foarte mică raportată la rolul funcțional al piesei.

În urma analizei termice, în care se observă creșterea de temperatură redusă (ca urmare a volumului mare al piesei) se poate spune că o micșorare a dimensiunilor piesei este posibilă, chiar indicată, ceea ce ar putea conduce la o creștere mai mare a temperaturii dar fără efecte importante în timpul funcționării.

### 3.3 Concluzii

Ca urmare a calculului tensiunilor și a deformațiilor piesei se poate spune că aceasta a fost supra-dimensionată în raport cu forțele și presiunile exercitate. În concluzie, un proces de optimizare a formei piesei ar trebui să conțină o micșorare a grosimii materialului în toate zonele piesei, în special unde valorile tensiunilor sunt foarte mici.

## 4 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Nitoi, D., Amza, O., 2012, Modelarea și simularea În Științe tehnice și Stomatologie, Editura AGIR, București, ISBN 978-973-720-451-6.
- [2] Nitoi, D., Amza, Gh., (2009), Modelarea și simularea proceselor tehnologice, Editura AGIR, ISBN 978-976-720-243-7.
- [3] Amza, Gh., Amza, C., (2006) Calitatea în procesele de operare, București, Editura Printech,

[4] Suh, N.P., Axiomatic design: Advances and applications, New York: Oxford University Press, 2001.

[5]. Lee D. G., Suh N. P., Axiomatic design and fabrication of composite structures, New York: Oxford University Press, 2006.