

# ASPECTE PRIVIND SOLICITAREA TERMO - MECANICĂ A ȘURUBURILOR DE CHIULASĂ ALE MOTOARELOR TERMICE ( I )

Prof.univ.dr.ing. **RADU I. IATAN**, dr. ing. **VENERA BEZMAN**  
*Universitatea POLITEHNICA din București*

**Abstract.** This paper propose to distinguish the solicitation of the screws of breech of the thermal engines, in the before constriction phases and exploitation. The evaluation is making on the basis of some theoretical considerations, however, taking into account some adequate correlations of automotive practice.

## 1.GENERALITĂȚI

În ultimele decenii s-au realizat progrese importante în domeniul motoarelor cu ardere internă prin: mărirea încărcărilor specifice, reducerea semnificativă a consumului de combustibil, sporirea durabilității componentelor, reducerea consumurilor specifice de material, toate acestea în condițiile reducerii severe a emisiilor poluante și sonore, în conformitate cu evoluția normelor internaționale legate de protecția mediului. Aceste realizări au condus la solicitări tot mai ridicate ale componentelor și subansamblurilor motoarelor actuale și la modificarea soluțiilor constructive tradiționale.

În prezent se realizează într-o măsură sporită construcții ușoare, care prin utilizarea intensivă a aliajelor de aluminiu au permis sporirea puterii specifice a motoarelor. Din cauza rezistenței mai scăzute a acestora, comparativ cu fonta, precum și pentru obținerea unor presiuni de etanșare mai mari, urmarea firească a nivelului presiunilor și temperaturilor dezvoltate în camera de ardere, a fost necesară revizuirea nivelului forțelor din șuruburile de chiulasă.

În paralel, garnitura de chiulasă a fost supusă unui permanent proces de modernizare și adaptare la noile cerințe funcționale, devenind o piesă extrem de sofisticată. De cele mai multe ori această componentă este rezultatul unei activități laborioase de dimensionare, proiectare și testare complexă cu echipamente specifice, funcție de cazul concret de utilizare. Modul în care garnitura de chiulasă răspunde solicitărilor impuse de funcționarea motorului, în special a celor rezultate în condițiile extreme de exploatare, este cel care decide în ultimă instanță asupra performanțelor și acceptabilității unei soluții constructive noi.

## 2.ASPECTE PRIVIND STRÂNGEREA INIȚIALĂ

### 2. 1. Problematică generală

Asamblarea cu prestrângere se caracterizează prin aceea că se creează o forță inițială în șurub și în piesele strânse la montare, prin strângerea puternică a piuliței, înainte de a fi aplicată forța de exploatare, care poate acționa static sau dinamic. Necorelarea între forța inițială și cea de exploatare poate avea consecințe grave, având în vedere că solicitarea șurubului se modifică substanțial la

aplicarea forței de exploatare. O valoare prea ridicată a forței de prestrângere lasă o rezervă prea mică pentru aplicarea forței de exploatare, iar o forță de pretensionare prea scăzută și un efort ciclic de încărcare conduc la solicitări periculoase de oboseală a șurubului.

Într-o asamblare filetată cu garnitură, strângerea trebuie să asigure aplicarea și menținerea sarcinii în vederea asigurării etanșării îmbinării. Sarcina care ia naștere pe suprafața garniturii trebuie să aibă o valoare convenabilă, astfel încât să o comprime și să-i asigure deformarea optimă pentru menținerea etanșeității pe întreaga durată de serviciu a ansamblului.

În faza de proiectare, pentru asigurarea unei strângeri optime, trebuie să se răspundă la următoarele întrebări [6]:

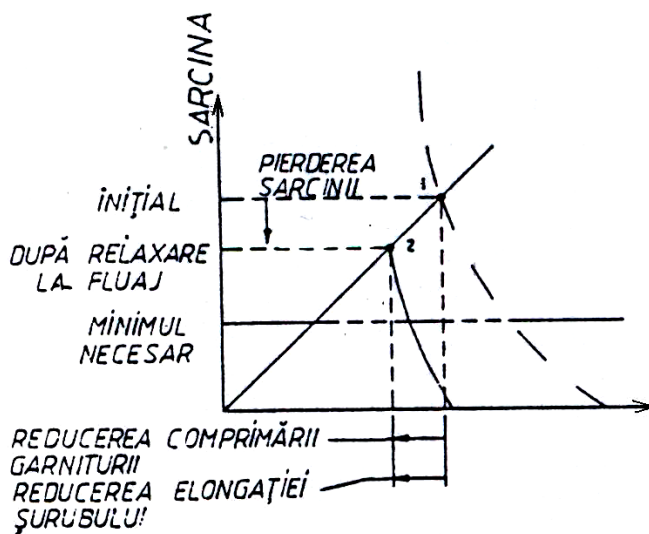
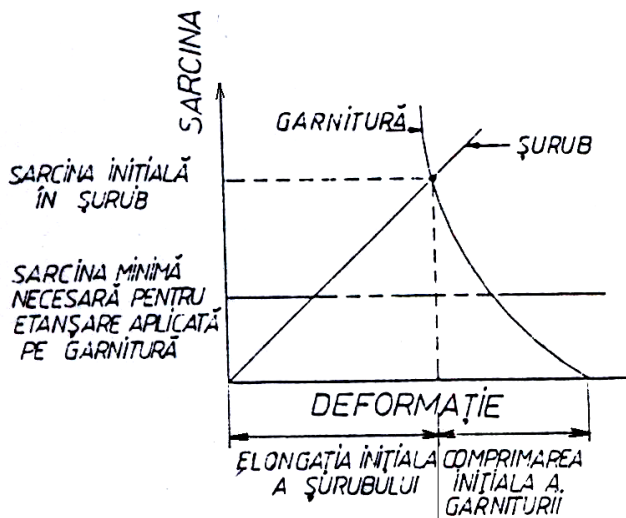


Fig. 2. Influența relaxării materialului garniturii asupra forțelor dintr-o asamblare filetată

- 1) Care este sarcina necesară a fi dezvoltată în șurub la montare (strângerea inițială) și cea probabilă de exploatare în timpul funcționării ansamblului?
- 2) Ce mărime și grupă de rezistență trebuie să aibă șurubul pentru a putea suporta în condiții de siguranță sarcina aplicată la montare și cea suplimentară în timpul funcționării ansamblului?
- 3) Ce moment teoretic este necesar pentru a produce sarcina de strângere inițială?
- 4) Care este metoda optimă de strângere a șuruburilor?

Pentru a stabili sarcina necesară trebuie avuți în vedere următorii para-metri:

- sarcina necesară pentru menținerea presiunii critice de etanșare a garniturii;
- presiunea internă a mediului care trebuie etanșat;
- relaxarea garniturii;
- variația tranzitorie a sarcinii datorată dilatărilor și contracțiilor (termice), în special la sistemele bimetalice;

- numărul de șuruburi ce poate fi folosit;
- rigiditatea flanșei și potențialul de deformare;
- rezistența materialului garniturii la distrugere (compresiune, răsucire, extrudare etc.).

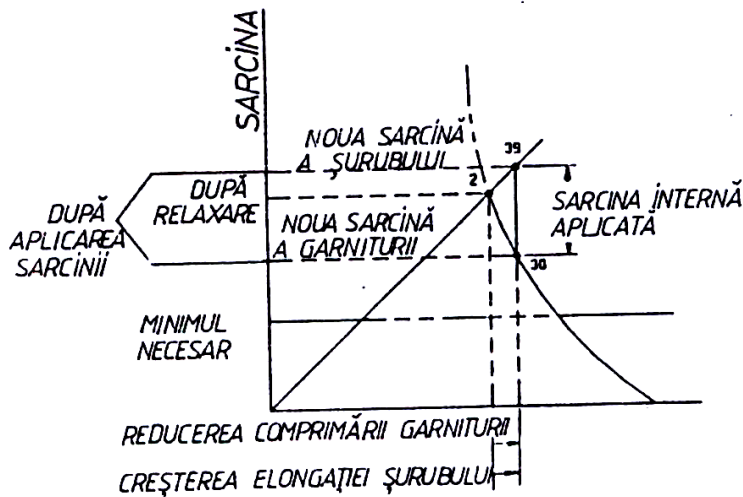


Fig. 3. Efectul aplicării forței de lucru asupra asamblării filetate

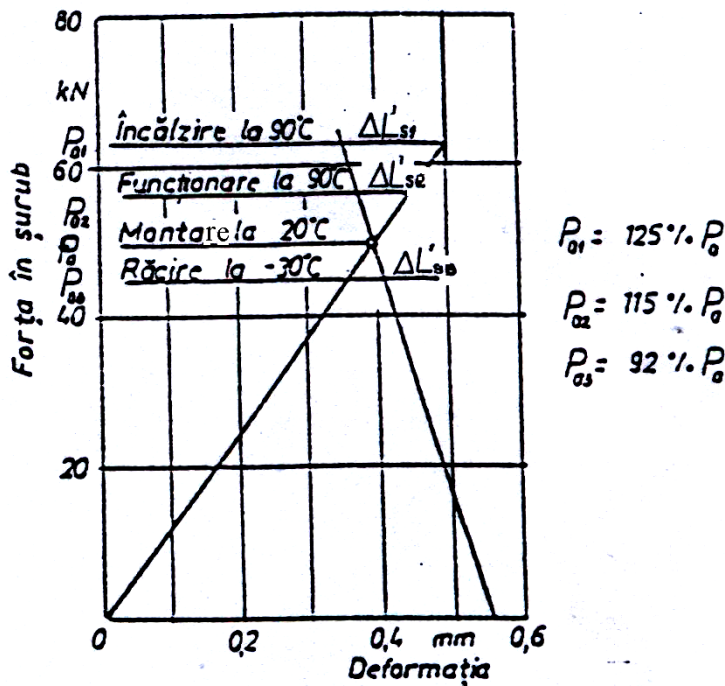


Fig. 4. Efectul temperaturii asupra încărcării pieselor unei asamblări filetate de chiulasă

Efortul critic de etanșare este dependent de materialul garniturii și reprezintă sarcina minimă necesară pentru a închide toți porii sau cavitațiile din materialul garniturii, în vederea asigurării etanșeității mediului de lucru. Dependența din-tre sarcina inițială, rigiditatea șurubului, rigiditatea pieselor strân-se, a relaxării garniturii la fluaj și variațiile tranzitorii ale presiunii mediului de lucru este ilustrată în figurile următoare. Se impune precizarea că în partea dreaptă nu este figurată comportarea pieselor strânse, așa cum se obișnuiește în diagrama de pretensionare, ci comportarea garniturii. În figura 1 este prezentată diagrama de strângere la montare, unde sarcina inițială în șurub va comprima garnitura mult peste limita impusă de presiunea critică de etanșare. Figura 2 ilustrează influența relaxării materialului garniturii. Comprimarea ulterioară a materialului garniturii este legată de variația forței active,

influența temperaturii și a vibrațiilor. În majoritatea asamblărilor, efectul relaxării garniturii apare relativ la începutul perioadei de exploatare și, ca urmare, efectul acestui fenomen este mai important decât cel al presiunii de lucru și al dilatărilor. Figura 3 prezintă efectul presiunii fluidului de lucru asupra diagramei de strângere. Această presiune are tendința de a separa flanșele și de a întinde șurubul.

Figura 4 prezintă efectul utilizării îmbinării într-un mediu de lucru mai rece sau mai cald decât cel la care s-a efectuat strângerea inițială, când șurubul este din oțel și flanșele din aluminiu. Con tracția mai mare a flanșei descarcă atât șurubul cât și garnitura, putând fi depășită limita de siguranță. Creșterea temperaturii are un efect contrar, mărin-d sarcina în șurub și garnitură. În acest caz factorii de limitare sunt rezistența la întindere a șurubului și rezistența la compresiune a materialului garniturii. Influența altor parametri, cum ar fi rigiditățile șuruburilor, flanșelor și garniturii, pot fi examinate practic similar.

În vederea stabilirii numărului de șuruburi, se ține cont de spațiul disponibil de montare și de aspectul economic, luându-se în considerație rigiditatea flanșei și forța inițială cerută.

## 2. 2. Momentul necesar de strângere

Aplicarea unui moment de torsiune  $M$  asupra capului de șurub induce:

- un cuplu util  $M_u$  care creează o tensiune inițială în șurub și lungirea acestuia;
- un cuplu  $M_{f_1}$  necesar învingerii frecării dintre spirele filetului șurubului și piuliței;
- un cuplu  $M_{f_2}$  necesar învingerii frecării sub capul de șurub.

Conform [7] repartizarea este următoarea:

$$M_u = 0,1 \cdot M ; \quad M_{f_1} = 0,4 \cdot M ; \quad M_{f_2} = 0,5 \cdot M . \quad (1)$$

Ca urmare, doar 10% din valoarea cuplului aplicat asigură lungirea șurubului și comprimarea pieselor strânse, realizând sau nu strângerea corectă a pieselor asamblate. Se con-stată deci ponderea importantă a frecării asupra strângerii asamblărilor filetate. În general, coeficienții de frecare pe suprafețele menționate variază în limite destul de largi, funcție de:

- tipul și cantitatea de lubrifianț;
- conformitatea execuției filetului;
- gradul de finisare a suprafețelor și calitatea execuției filetului;
- planeitatea și paralelismul suprafețelor pieselor strânse.

De cele mai multe ori condițiile de frecare se modifică la refolosirea elementelor filetate. În figura 5 este prezentată influența coeficientului de frecare asupra raportului sarcină șurub/moment de strângere pentru diferite mărimi de filete, după standardizarea anglo-saxonă.

## 2. 3. Metode de strângere a șuruburilor

Realizarea forței de încărcare a șuruburilor la montare, forță cunoscută sub numele de forță de prestrângere sau de pretensionare, pe baza căreia se dimensionează o asamblare filetată, este de importanță vitală pentru siguranța în funcționare și pentru fiabilitatea asamblării.

Uniformitatea forței de prestrângere în șuruburile unei asamblări filetate este influențată de procedeul de strângere, sculele folosite la montare, condițiile geometrice de împerechere a componentelor asamblării și de cele de ungere. La marea majoritate a asamblărilor filetate, controlul forței de prestrângere nu este posibil în mod direct.

În prezent sunt folosite următoarele procedee de strângere:

- la un moment cu valoare precizată;
- la un moment cunoscut și unghi de rotire cu valoare stabilită;
- atingându-se limita de curgere a materialului șuruburilor;
- utilizând impulsuri controlate;
- atingerea lungirii elastice cunoscute a șurubului.

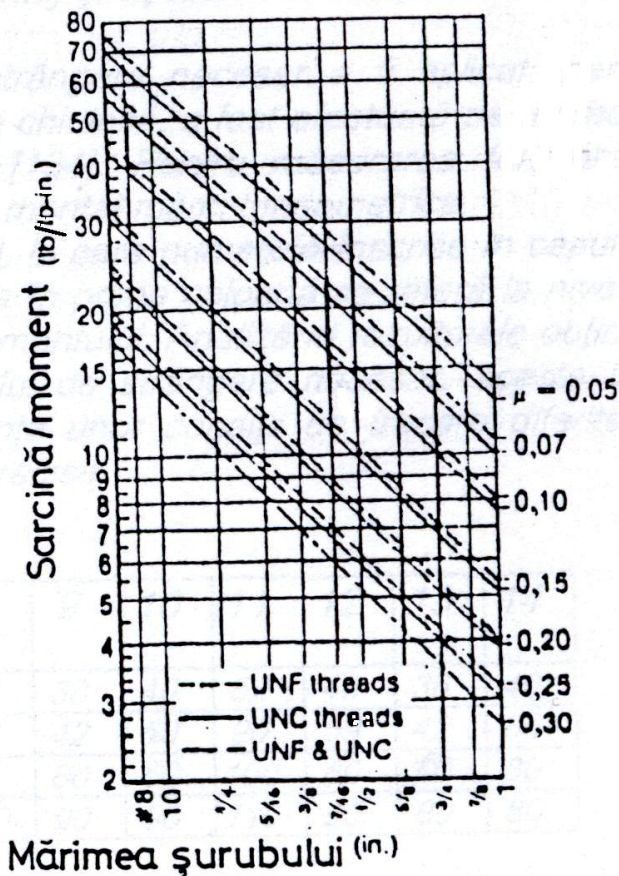
Strângerea tradițională, cu o cheie dinamometrică, la un moment cu valoare precizată, conduce la o dispersie mare a valorilor forțelor de prestrângere în șuruburile asamblării, determinată în special de condițiile de frecare, diferite de la șurub la șurub, și de erorile de măsurare ale momentului. Abaterile de execuție și de finisare a zonei de contact dintre șurub, piuliță și restul componentelor asamblării, adâncimile insuficiente ale găurilor filetate, necurățarea prin suflare a acestora, nerespectarea cu strictețe a ordinii de

strângere a șuruburilor și neaplicarea strângerii progresive în mai multe trepte, pentru șuruburile importante, pot produce pe lângă dispersiile mari ale forțelor de pretensionare și așezări necorespunzătoare sau deformații semnificative ale componentelor asamblării. O cercetare asupra dispersiei momentului de strângere necesar a fi aplicat, pentru obținerea aceleiași forțe de pretensionare în șuruburile de chiulasă, a fost efectuată pe un motor cu trei cilindri la întreprinderea ROMAN – S.A. Brașov [8]. Pentru măsurarea forțelor de pretensionare pe toate cele 14 prezoane de chiulasă s-au montat traductoare tensometrice electrorezistive. Analizând rezultatele obținute se constată o dispersie deosebit de mare a valorilor momentului necesar de strângere. Acest lucru pune în evidență existența unor condiții diferite de frecare în zonele de înșurubare, ca și a unei execuții destul de imprecise. Se poate concluziona că realizarea unor forțe uniforme de prestrângere în șuruburile unei asamblări filetate rămâne un deziderat destul de greu de realizat, determinant însă pentru durata de serviciu a produsului. În aplicațiile de interes secundar mărimea forței de prestrângere poate fi de mai mică importanță, obiectivul prioritar rămânând realizarea asamblărilor la costuri minime la un standard acceptabil de calitate.

În vederea obținerii unor forțe cât mai uniforme în șuruburile unei asamblări filetate, în multe cazuri după aplicarea unui moment preliminar, șuruburile sunt strânse în domeniul plastic, după metoda de strângere la un unghi precizat sau cu atingerea limitei de curgere a materialului șuruburilor [1].

Pentru forța din șurub este valabilă relația:

$$P = \frac{2 \cdot M}{d_m \cdot \tan(\beta_m + \varphi^{\circ}) + D_m \cdot \tan \varphi}, \quad (2)$$



1 inch = 25,4 mm

Fig. 5. Influența coeficientului de frecare asupra raportului forță/moment pentru diferite mărimi de filete

unde s-au folosit notațiile:  $P$  – forța din șurub;  $M$  – momentul de strângere;  $d_m$  – diametrul mediu al filetului;  $\beta_m$  – unghiul elicei filetului;  $D_m$  – diametrul mediu al capului șurubului;  $\varphi$  – unghiul de frecare a capului șurubului cu piesa strânsă;  $\varphi^*$  – unghiul de frecare pe spiarele filetului.

Pentru suprafețele de frecare ale șuruburilor de chiulasă, conform [2] pentru coeficientul de frecare  $\mu$  al capului șurubului și respectiv  $\mu^*$  al spiarelor filetului sunt uzuale următoarele valori [1]:

$$\mu = 0,08 \dots 0,20; \quad \mu^* = 0,092 \dots 0,231. \quad (3)$$

Pentru determinarea forțelor maxime posibile, trebuie să se țină seama de limita de curgere a materialului șuruburilor, ca și de aria secțiunii transversale de strângere a șurubului. Această secțiune este supusă unei tensiuni normale,  $\sigma$  și unei tensiuni de răsucire,  $\tau$ . Ambele tensiuni se compun în tensiunea echivalentă,  $\sigma_{ech}$ .

Admițând teoria a IV-a de rezistență se deduce:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sigma_c, \quad (4)$$

cu  $\sigma_c$  notându-se limita tehnică de curgere a materialului, unde:

$$\sigma = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_1^2}; \quad \tau = \frac{d_m \cdot \tan(\beta_m + \varphi^*)}{2 \cdot \pi \cdot d_1^3} \cdot P, \quad (5)$$

cu  $d_1$  notându-se diametrul minim al șurubului. Se ajunge în acest fel la stabilirea forței din șurub, la limita de curgere:

$$P_{max} = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot \sigma_c}{4 \cdot \sqrt{1 + 12 \cdot \left( \frac{d_m \cdot \tan(\beta_m + \varphi^*)}{d_1} \right)^2}}. \quad (6)$$

Cu ajutorul ecuației (2) se poate stabili, pentru șurubul de chiulasă, un câmp caracteristic în care se reprezintă forța din șurub dependentă de momentul de strângere, având ca parametru variabil coeficientul de frecare (fig. 6).

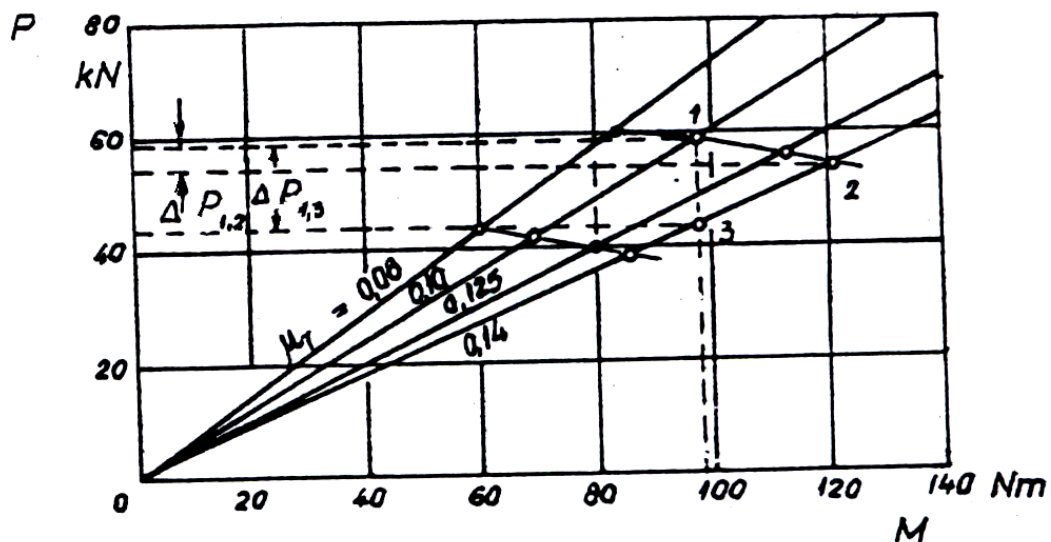


Fig. 6. Caracteristica unui șurub M 12 x 1,75

O asamblare strânsă în mod tradițional cu valoarea precizată a momentului de strângere, va avea o dispersie măsurată pe o verticală paralelă la axa ordonatelor, dusă prin valoarea momentului de

strângere precizat, cuprinsă între graficele corespunzătoare coeficientului de frecare minim și maxim.

În condiția strângerii în domeniul plastic prin indicarea unui unghi de rotire și atingerea limitei de curgere, dispersia forței în șurub se va măsura pe ordonată între paralele duse la axa absciselor, în punctele corespunzătoare forțelor din șurub la limita de curgere, pentru valoarea maximă și minimă a coeficientului de frecare.

În cazul montării unei asamblări filetate cu garnitură și șurub M 12 x 1,75 din grupa de rezistență 10.9, cu o variație a coeficientului de frecare între 0,08 și 0,14, conform figurii 6., dispersia forțelor în șurub, în cele două situații menționate, este între punctele 1 și 3, respectiv 1 și 2 ( $\Delta P$  - creștere teoretică a forței din șurub;  $\Delta P_{1,2} = 0,08 \cdot P$ ;  $\Delta P_{1,3} = 0,26 \cdot P$ ) [1, 2]. În practică dispersia forței în șurub în cazul strângerii la o valoare precizată a momentului se cifrează la  $\pm 30\%$  și la  $\pm 15\%$  în cazul strângerii la moment și unghi cu valori precizate. În cazul strângerii cu atingerea limitei de curgere dispersia este de  $\pm 10\%$  [1].

Strângerea la limita de curgere nu poate fi utilizată în orice situație, pentru că, de exemplu, în cazul construcțiilor din metale ușoare pot apare deformații plastice suplimentare, ca urmare a dilatărilor diferite ale elementelor constructive, care pot avea pierderi inadmisibil de mari ale forțelor în șurub. Pot apare totodată efecte de suprastrângere a șurubului și, de asemenea, este de evidențiat limitarea reutilizării șuruburilor.