

CERCETAREA EMPIRICĂ A AJUSTAJULUI CU STRÂNGERE CARE ÎNCORPOREAZĂ PIESE TIPĂRITE 3D

Mihai ȚURCAN¹, Andreea Mădălina PANĂ², Sergiu OLARU¹

¹Departamentul de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea de Construcții de Mașini și Management Industrial, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România

²Departamentul de Mașini-Unelte, Facultatea de Construcții de Mașini și Management Industrial, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România

*Autor corespondent: Mihai Țurcan, e-mail: mihai.turcan@student.tuiasi.ro

Coordonatori științifici: Margareta COTEĂȚĂ, dr. ing. și Laurențiu SLĂTINEANU, dr. ing., Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România

Rezumat: În lucrare, este abordată o problemă referitoare la realizarea ajustajelor cu strângere. Problema urmărește să formuleze un răspuns la unele întrebări legate de dimensiunile pe care trebuie să le aibă un alezaj într-o piesă din material plastic realizată prin tipărire 3D pentru a forma un ajustaj cu strângere, atunci când piesa cuprinsă este o piesă de tip arbore din oțel. O asemenea problemă este importantă dată fiind influența pe care strângerea o poate exercita asupra rigidității subsistemului din care face parte, asupra erorii de poziționare a altor piese, asupra rezistenței asamblării presate, asupra posibilităților de presare. S-a plecat de la posibilitatea folosirii unei metoda empirice, care ar putea permite ca rezultatul cercetării să poată fi monitorizat/verificat/corectat direct, atunci când piesele din material plastic realizate prin tipărire 3D au alezaje cu dimensiuni crescătoare cu 0,05 mm. A fost conceput un dispozitiv de presare ce înglobează un traductor de forță și componente pentru prelucrarea și evidențierea mărimii semnalului transmis de le traductor.

Cuvinte cheie: îmbinare cu strângere, piesă din material plastic, tipărire 3D, traductor de forță, dispozitiv de presare.

Introducere

În tehnică, un ajustaj caracterizează relația dintre două piese cu dimensiuni nominale identice și care urmează a fi asamblate, în vederea asigurării unei anumite strângeri sau a unui anumit joc ce trebuie să existe între cele două piese [1]. Importanța ajustajelor a crescut o dată cu dezvoltarea tehnologiilor de prelucrare a materialelor și anume după revoluția industrială din secolele XVII-XIX. Atunci a apărut necesitatea de a crea ansambluri mecanice cu un număr din ce în ce mai mare de piese, în unele cazuri fiind necesară obținerea anumitor ajustaje între unele dintre componentele ansamblurilor mecanice. Importanța ajustajelor decurge din necesitatea asigurării unor conexiuni suficient de precise ale componentelor unui ansamblu mecanic.

Ajustajele pot fi cu joc, cu strângere și respectiv ajustaje intermediare.

Ajustajele cu joc sunt ajustaje care asigură posibilități de deplasare între componentele ansamblului mecanic. În reprezentarea grafică, în cazul ajustajelor cu joc, câmpul de toleranță al alezajului se află în exteriorul câmpului de toleranță al arborelui. Spre deosebire de ajustajele cu joc, ajustajele cu strângere nu permit deplasarea relativă a pieselor îmbinate în timpul funcționării ansamblurilor mecanice din care fac parte. În cazul ajustajelor cu strângere, câmpul de toleranță al alezajului se află în interiorul câmpului de toleranță al arborelui.

Se acceptă existența unor ajustaje cu strângere probabilă mică (H6/k6; H6/m6), cu strângere mică (H6/p5), cu strângere mijlocie (H7/r6), cu strângere mare (H7/s6) și respectiv cu strângere foarte mare (H7/t6).

Ajustajele cu strângere au la bază realizarea prin presare a operației de asamblare [4]. În acest fel, o asamblare prin presare reprezintă o îmbinare cu interferență, demontabilă sau permanentă, a două suprafețe, de exemplu cilindrice sau conice, una interioară și cealaltă exterioară (fig. 1). Fixarea

sau reținerea pozițiilor relative ale pieselor una față de alta se realizează prin intermediul forțelor de frecare dintre suprafețele de contact.

Pe lângă procedeul de presare directă, care este cel mai simplu și mai productiv procedeu, există și alte posibilități de îmbinare a două piese, pentru a realiza un ajustaj cu strângere și anume prin încălzirea piesei cuprinzătoare, prin răcirea piesei cuprinse, prin așa-numita hidro-presare etc.

Principalele probleme ce pot apărea în exploatarea ajustajelor cu strângere sunt menționate în unele cercetări care pun problema modificării mărimii în timp a forței de strângere. Cauzele unei asemenea modificări pot fi procesele de oboseală, de coroziune etc.

Oboseala unei îmbinări cu strângere (realizate, de exemplu, prin fretare) este acel tip de oboseală, în cazul căreia, datorită tensiunilor mari de contact, tensiuni stabilite în concordanță cu necesitatea de a se face față unor sarcini pulsatorii sau variabile, se dezvoltă modificări plastice locale ale materialelor, ajungându-se astfel la modificări ale formei micro neregularităților corespunzătoare suprafețelor aflate în contact.

Coroziunea unei îmbinări fretate are loc datorită prezenței unui mediu coroziv între suprafețele în contact, prezență favorizată, de exemplu, de incluziunile de particule nedorite în structura materialelor pieselor îmbinate sau de prezența altor particule capabile să favorizeze dezvoltarea unor procese de coroziune.

Referitor la piesele din materiale plastice, în prezent au devenit bine cunoscute și relativ frecvent utilizate procedeele de tipărire 3D. *Tipărirea 3D* este o metodă de fabricație aditivă, prin generarea strat cu strat a pieselor din material plastic și nu numai din asemenea materiale, metodă care permite realizarea unor configurații foarte diverse ale pieselor. Importanța tipării 3D provine în primul rând din economia de material și din posibilitățile de fabricare rapidă a prototipurilor sau a pieselor din cazul producției individuale, cu investiții relativ scăzute și care asigură o precizie dimensională a suprafețelor pieselor de ordinul a $0.4 - 2 \mu\text{m}$, aspect ce devine avantajos în numeroase situații.

Tipărirea 3D permite executarea unei game largi de piese, inclusiv a unor piese care formează ajustaje.

Un dezavantaj semnificativ al asamblărilor realizate prin presare între o piesă din material plastic și una din material metalic este slăbirea strângerii în timp, datorită unui proces de obosire a materialului plastic.

Contribuții referitoare la cercetarea asamblărilor cu strângere au fost aduse de către Hüyük și Music, rezultatele cercetărilor lor fiind publicate în anul 2014 [2]. Ei au analizat efectele elastoplasticității în cazul asamblărilor cu strângere. S-a constatat că strângerea maximă nu oferă întotdeauna o rezistență maximă asamblării presate. Rezistența maximă se regăsește pentru dimensiuni corespunzătoare la aproximativ jumătate din valorile dimensiunilor zonelor ce se suprapun din cazul îmbinărilor cu strângere.

Zehsaz și Shahriary (2013) au studiat rezistența la oboseală a unor îmbinări cu strângere dintre osia și butucul folosite în cazul vehiculelor de căi ferate [3]. S-a constatat că o mărire a strângerii dintre cele două componente poate conduce la o micșorare a rezistenței îmbinării la solicitări de oboseală.

Panova și Panov (2017) au realizat cercetări cu privire la influența condițiilor speciale de exploatare a ajustajelor cu strângere [4]. Ei au ajuns la concluzia că atunci când trebuie alese materialele pieselor ce vor forma un ajustaj cu strângere, este util să se selecteze materiale cu diferențe minimă între valorile coeficienților de dilatare termică.

În prezenta lucrare, se vor formula și examina mai întâi niște ipoteze teoretice referitoare la condițiile de precizie solicitate pieselor din componența ajustajelor cu strângere. Ulterior, se va recurge la conceperea unui dispozitiv care să permită verificarea experimentală a unora dintre ipotezele formulate.

Cercetare experimentală

Obiectivul cercetării a fost cel de urmărire a evoluției mărimii forței de strângere în timpul presării unei piese din plastic tipărite 3D care formează un ajustaj cu strângere cu un rulment radial cu un diametru exterior $\phi 22.00$.

O modalitate de a identifica pe cale empirică precizia necesară a alezajului bușei este determinarea tipului de ajustaj cu strângere care se formează între acele 2 piese. Tipul de ajustaj poate fi identificat în funcție de forța maximă aplicată pentru introducerea rulmentului în bușă sau extragerea acestuia din interiorul bușei (fig. 1).

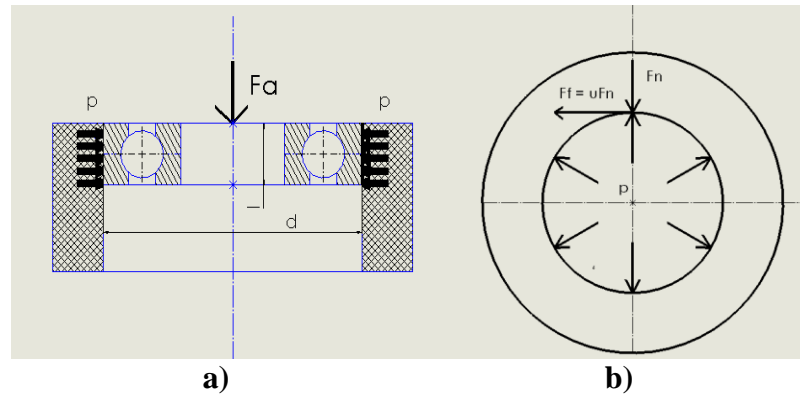


Figura 1. Distribuția forțelor în asamblarea presată: a- axiale ,b- radiale

Conform aspectelor evidențiate în figura 1, se poate stabili capacitatea portantă a unei asamblări presate sau, cu alte cuvinte, strângerea necesară pentru a nu permite forței axiale să deterioreze asamblarea.

Pe suprafața cilindrică de contact cu diametrul d și lungimea l , apare o forță totală de frecare F_f , prin acțiunea unei presiunii uniforme distribuite p pe o suprafață de mărime A (fig.2):

$$p = \frac{F_n}{A} = \frac{F_n}{\pi dl}. \quad (1)$$

În relația anterioară, F_n este forța normală, ce poate fi determinată cu ajutorul unei relații de forma:

$$F_n = \pi dlp, \quad (2)$$

Mărimea forței de frecare F_f poate fi determinată ca fiind:

$$F_f = \mu F_n = \mu \pi dlp, \quad (3)$$

în care μ este coeficientul de frecare între materialele celor două componente folosite pentru realizarea îmbinării cu strângere

Determinarea tipului de ajustaj necesar a se realiza în funcție de valoarea strângerii minime necesare se va efectua plecând de la relația (4), în care F_a este mărimea forței axiale, dependente de presiunea minimă necesară p_{min} :

$$F_f = \mu \pi dlp < F_a, \quad (4)$$

$$p_{min} = \frac{F_a c}{\pi \mu d^2 l} \quad (5)$$

Conform ecuației lui Lamé, exprimată în forma evidențiată prin relația (6), presiunea p are o valoare:

$$p = \frac{s \cdot 10^{-6}}{d \left[\frac{K_A}{E_A} + \frac{K_B}{E_B} \right]}, \quad (6)$$

în care p este presiunea, în N/m^2 ;

d – diametrul nominal al asamblării, în m;

s – strângerea, în μm ;

E_A, E_B sunt valori ale modului lui Young, valabile pentru materialul bucșei (al piesei cuprinzătoare) și respectiv pentru materialul piesei cuprinse (al piesei de tip arbore), în N/m^2 sau în Pa.

K_A și K_B se pot determina folosind relațiile:

$$K_A = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \vartheta_A \quad (7)$$

$$K_B = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \vartheta_B \quad (8)$$

în care d_1 este diametrul interior al bucșei, în m;

d_2 - diametrul exterior al arborelui, în m;

ϑ_A, ϑ_B sunt valori ale constantei lui Poisson pentru materialele arborelui și bucșei.

Din relația lui Lamé, se obține valoarea minimă s_{min} a strângerii:

$$s_{min} = p_{min} \cdot d \left[\frac{K_A}{E_A} + \frac{K_B}{E_B} \right] \cdot 10^{-6} [\mu\text{m}] \quad (9)$$

În urma realizării prin presare a ajustajului cu strângere, se produce o aplatizare a asperităților într-o proporție de aproximativ 60%. Din această cauză, este necesară utilizarea unei strângeri minime efective $s_{min_{ef}}$, care reprezintă strângerea minimă determinată cu ajutorul unei relații de forma:

$$s_{min_{ef}} = s_{min} + 1.2(R_{max_A} + R_{max_B}) [\mu\text{m}]. \quad (10)$$

Este necesar ca între strângerea corespunzătoare ajustajului și strângerea minimă efectivă să existe inegalitatea:

$$s_{min_{aj}} \geq s_{min_{ef}}. \quad (11)$$

Conform informațiilor din tabelele existente în literatura de specialitate [5], tabele în care se înscriu valorile toleranțelor pentru diferite trepte de precizie, se alege ajustajul cu strângere care satisface condiția (11). Un asemenea ajustaj evidențiază valorile toleranțele pieselor care îl formează. În prezenta lucrare, se propune executarea prin tipărire 3D a mai multor piese de tip bucșă din material plastic, cu valori diferite ale diametrelor alezajelor. Aceste piese vor fi testate la presare sau extragere, identificându-se astfel ajustajele care necesită forțe mai mari pentru realizarea lor.

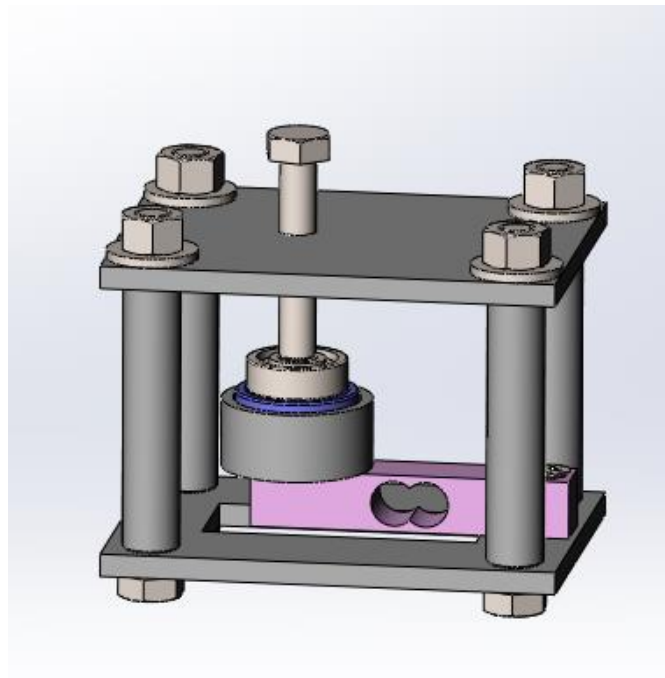


Figura 2. Dispozitiv de încercare la compresiune cu traductor de forță

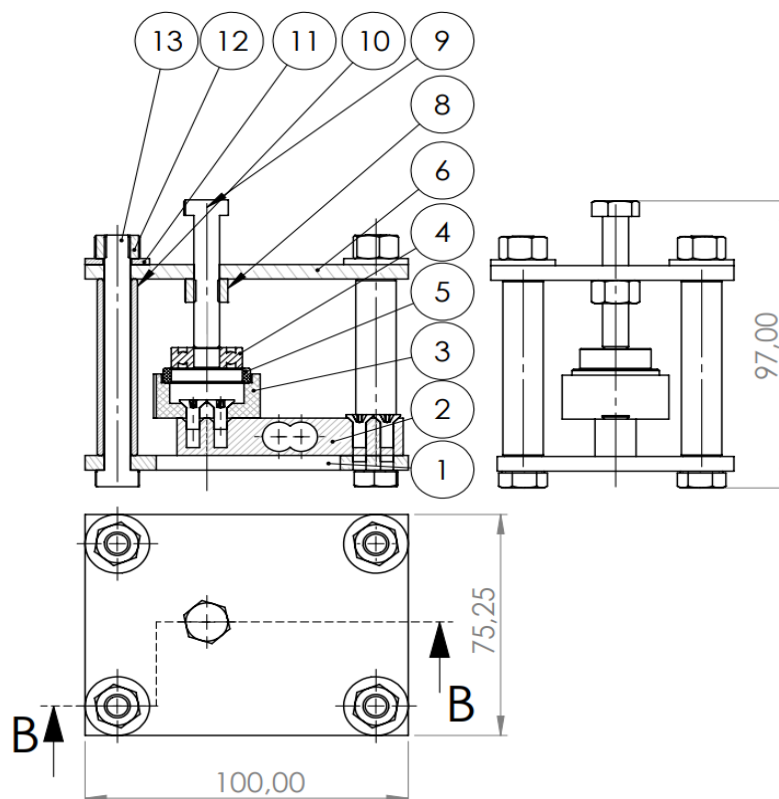


Figura 3. Dispozitivul pentru realizarea ajustajelor cu strângere și măsurarea forței necesare în acest scop

Încercarea de presare a unei piese de tip arbore (în cazul de față, inelul exterior al unui rulment radial) se poate efectua pe un dispozitiv conceput în acest sens (fig. 2).

Dispozitivul (fig. 3) este compus din două plăci, una superioară 1 și una inferioară 6, conectate prin intermediul unor coloane materializate prin șuruburile 13, piulițelor 12, rondelilor 11 și al bușelor 10. Pe placa 1 se montează un traductor 2, cu două șuruburi M4. Traductorul este construit

sub forma unei bare în consolă, elasticizate prin execuția unor degajări în bară și la care au fost atașate niște mărci tensometrice. La capătul liber al barei traductorului 2, se montează un suport de tip bucșă 3, din material plastic, bucșă care are rol de susținere și centrare a bucșei-epruvetă 5, ce urmează a fi asamblate prin presare cu rulmentul 4, sub acțiunea forței axiale F_a , generate la rotirea șurubului 9, prin intermediul capătului 8 al șurubului 9. Semnalul înregistrat de traductorul 2 este amplificat cu ajutorul unui modul electronic (HX711) și prelucrat de o placă de dezvoltare (Arduino Mega 2550). Semnalul astfel generat este transformat într-un grafic, prin intermediul unui calculator prin COM-PORT, conform schemei din figura 4.

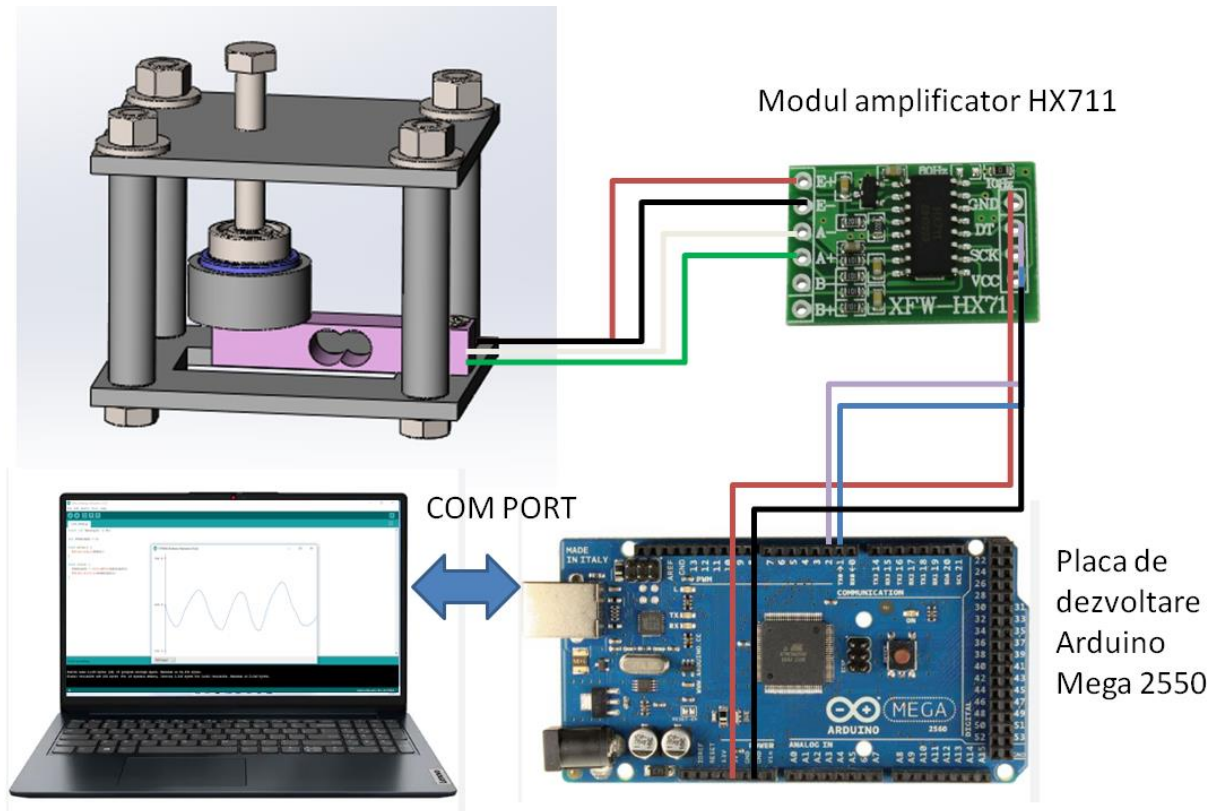


Figura 4. Schema de recepționare și prelucrare a informațiilor obținute la presarea rulmentului radial în bucșa din material plastic fabricată prin tipărire 3D

Concluzii

Cercetarea ale cărei rezultate sunt expuse în prezentul articol a urmărit identificarea unei metodologii empirice de evaluare a comportării ajustajelor cu strângere formate între o bucșă din material plastic fabricată prin tipărire 3D și o piesă de tip arbore, materializată de inelul exterior al unui rulment radial. A fost conceput și realizat un dispozitiv digitalizat pentru încercarea la compresiune a asamblărilor cu strângere, urmând ca ulterior să se realizeze un set de epruvete de tip bucșă din materiale plastice, fabricate prin tipărire 3D, cu diametre interioare variabile cu un increment de 0.05 mm. Aceste asamblări cu strângere vor facilita determinarea forței la care îmbinarea cedează. Introducând valoarea forței în relația lui Lamé, se poate identifica ajustajul cu cea mai bună comportare, respectiv toleranțele la diametrul interior al bucșelor corespunzătoare celei mai bune comportări a ajustajului. În viitor, se intenționează realizarea unor încercări experimentale care să permită o modelare matematică empirică a rezultatelor și respectiv identificarea pe cale experimentală a condițiilor în care se asigură comportarea cea mai bună a ajustajelor cu strângere supuse investigației.

Referințe

1. CIOATĂ, F., MUNTEANU, A. Toleranțe și control dimensional .Suport de curs, 2020, pp. 27-40 [accesat 14.03.2023]. Disponibil: https://cmmi.tuiasi.ro/wp-content/uploads/cursuri/TOLERANTE%20SI%20CONTROL%20DIMENSIONAL_SUPORT%20DE%20CURS.pdf
2. ZEHSAZ, M., SHAHRIARY, P. The effects of friction coefficient and interference on the fretting fatigue strength of railway axle assembly. *Scientific Bulletin-University Politehnica of Bucharest, Series D*, 2013, 75(4), pp. 71-84.
https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez88a_664327.pdf
3. HÜYÜK, H., MUSIC, O., KOÇ, A., KARADOGAN, C., BAYRAM, Ç. Analysis of elastic-plastic interference-fit joints . *11th International Conference on Technology of Plasticity, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan*, 2014 , 2035(3), pp.(2031-2035). [accesat 14.03.2023]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/275540376_Analysis_of_Elastic-plastic_Interference-fit_Joints
4. PANOVA, I.M., PANOV, A.D. Analiz nadejnosti soedinenii s natiagom v osobih usloviah ecsploatații [Analysis of the reliability of the connection with an interference fit in special operating conditions] *Internet-jurnal Naukovedenie*, 2017, 9 (4), pp. 1-9.
<https://naukovedenie.ru/PDF/26TVN417.pdf>
5. TUDOSE SANDU-VILLE, F. *Aplicație în proiectarea organologica*. Îndrumar de proiectare Iași: Editura PIM, 2007, pp. 24-30.