



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

UTILIZAREA FOTOELASTICIMETRIEI ÎN ANALIZA STĂRII DE TENSIUNI PENTRU O STRUCTURĂ DE ROBOT INDUSTRIAL. CONSIDERAȚII GENERALE

Mihaela SIMION, Adrian-Ioan BOTEAN, Mircea BEJAN

THE USE OF PHOTOELASTICITY IN ANALYZING THE STATE OF STRESSES FOR THE STRUCTURE OF AN INDUSTRIAL ROBOT. GENERAL CONSIDERATIONS

In this paper it's presented, in general, the experimental study of the structure of an industrial robot with five degrees of freedom. Using the experimental method of photoelasticity, are determined the principal stress difference and the distribution of stresses on the surface of entire structure of the studied industrial robot.

Cuvinte cheie: experimental, fotoelasticimetrie, tensiuni, deformații, robot, serial

Keywords: experimental, method of photoelasticity, stress, strain, industrial robot, show

1. Noțiuni generale cu privire la metoda experimentală - fotoelasticimetria

Metodele analitice de calcul ale tensiunilor și deformațiilor tratate până în prezent în cărțile de specialitate au serioase limitări, neputând duce la rezolvarea oricărei probleme puse în practică [1]. Aceste limitări se datoresc: • formei complicate a pieselor și solicitărilor complexe la care acestea sunt supuse; • ipotezelor simplificatoare ce stau la baza relațiilor analitice.

În acest sens, apare obligativitatea combinării calculului teoretic cu procedeul experimental adecvat, ca apoi, rezultatele experimentale să fie validate/verificate prin analize și simulări ce au la bază metode numerice (metoda elementelor finite) [2], [3], [7].

Metodele de determinare a tensiunilor și deformațiilor cele mai des utilizate sunt: fotoelasticimetria prin transparentă și reflexie, Corelarea Digitală a Imaginii, metoda franjelor Moire, tensometria electrică rezistivă, interferometria etc.

Metoda fotoelasticimetriei prin transparentă este o metodă experimentală optică ce oferă informații imediate și pe întreaga suprafață a piesei sau a unei structuri cu privire la diferența tensiunilor principale ($\sigma_1 - \sigma_2$) și direcția tensiunilor principale. Această metodă experimentală poate fi aplicată pieselor 2D (plane) sau 3D (piese solide), având o geometrie complexă.

Piesele, din materiale transparente optic activ¹ (de exemplu rășină epoxidică, sticlă organică etc.) sunt geometrice asemenea și solicitate identic cu piesele reale [1]. Studiul se realizează în lumina polarizată, de obicei obținută cu ajutorul polarizilor² (sau filtre polarizate).

Prin metoda fotoelasticimetriei se determină două familii de curbe: ● Izocline – reprezintă locurile geometrice ale punctelor în care direcțiile principale sunt paralele cu direcțiile planelor de polarizare ale polarizilor; ● Izocromate – reprezintă locul geometric al punctelor în care diferența tensiunilor principale este constantă.

La modul general, diferența tensiunilor principale se calculează cu relația analitică [1]:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = k \cdot \sigma_0 \quad (1)$$

unde, σ_1, σ_2 reprezintă tensiunile principale ($\sigma_2 = 0$ în cazul în care piesa simplă este supusă unor solicitări simple, cum ar fi întindere, compresiune axială sau încovoiere pură), k reprezintă numărul izocromatei ($k = 1, 2, 3$ etc.), iar σ_0 este o caracteristică a materialului transparent (care se determină experimental) și este măsurat în N/mm^2 .

¹ Materialele transparente optic activ prezintă proprietatea de birefringență, adică razele de lumină ce trec prin corpul tensionat se vor descompune după două direcții (sau plane) care coincid cu direcția tensiunilor principale [1].

² Sunt plăci polarizatoare confecționate din materiale care prezintă dicroism: proprietatea unor cristale birefringente de a absorbi raza ordinară și a lăsa să treacă numai raza extraordinară, polarizată liniar [1].

Aplicabilitatea acestei metode experimentale este vastă; se poate aplica în orice domeniu al ingineriei și nu numai, atunci când se dorește stabilirea distribuției de tensiuni, implicit observarea zonelor cu solicitare maximă, indiferent de geometria piesei model și de regimul de studiu (static și dinamic) [4], [6].

Utilizarea metodei în regim dinamic devine din ce în ce mai utilizată și mai importantă, mai ales în cazul sistemelor ce execută mișcări în timp, ca exemplu roboți industriali, elemente din componența aeronavelor, mașinilor unelte etc. [5].

2. Studiul experimental al robotului industrial

Metoda experimentală optică, fotoelasticimetria prin transparență, se aplică în cazul unui robot industrial Fanuc LR Mate cu cinci grade de libertate.

Scopul acestui studiu constă în determinarea distribuției de tensiuni pe întreaga structură de rezistență a robotului și stabilirea zonele cu tensiuni maxime, atunci când structura este solicitată de o forță echivalentă cu sarcina maximă de manipulare a robotului (5 kg).

Pentru realizarea experimentului, într-o primă fază se realizează modelul CAD al structurii robotului luat în studiu cu ajutorul programului SolidWorks: se modelează cele cinci module din componența robotului, cuplele de rotație, rulmenții și elemente de legătură. Apoi, pe baza desenului CAD, fiecare modul din componența structurii robotului se divizează în plăci cu grosimi variabile (2,5; 4; 6; 7; 8 și 15 mm), așa cum se arată în figura 2.

În figura 1, a) se prezintă modelul real al robotului Fanuc, în figura 1, b) s-a reprezentat ansamblul din plăci a structurii robotului, iar în figura 1, c) s-a expus vederea explodată³ a acestuia.

Pentru construirea structurii de rezistență a robotului Fanuc la scara 1:1 se torn plăci din rășină epoxidică.

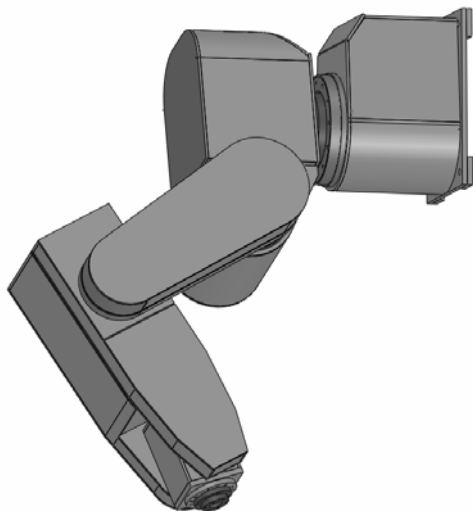
Pe baza desenelor de execuție a fiecărei piese din structura robotului se confecționează, din plăcile de rășină, piesele respective cu ajutorul mașinilor unelte, ca în final, să fie asamblate, realizându-se structura de rezistență a robotului Fanuc.

Asamblarea structurii din piesele respective se realizează prin lipire (utilizând rășină epoxidică) și cu bolțuri confecționate tot din rășină (la asamblarea capacelor), iar pentru a nu exista zone de cedare a structurii (datorate lipirilor cu rășină) în timpul solicitării cuplele de rotație, rulmenții se confecționează ca o piesă întreagă.

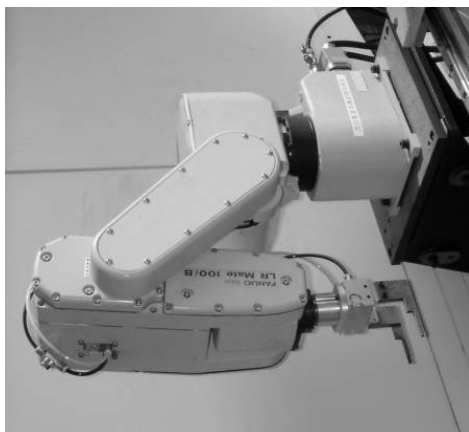
³ Desen axonometric cu piese în spațiu dispuse 3D în ordinea logică de asamblare.

În tabelul 1 se prezintă câteva elemente din structura robotului studiat – model CAD și model realizat din rășină expoxidică.

După „construirea” întregului ansamblu al structurii robotului, acesta și se va introduce într-o etuvă (pentru a obține efectul de „înghețare a tensiunilor”), și se va solicita cu sarcinile stabilite. În acest fel, distribuția tensiunilor se va păstra și după încetarea solicitării, având astfel accesul la informații în orice moment.



b)



a)

Fig.1 Robot industrial Fanuc LR Mate: a) model real; b) model CAD

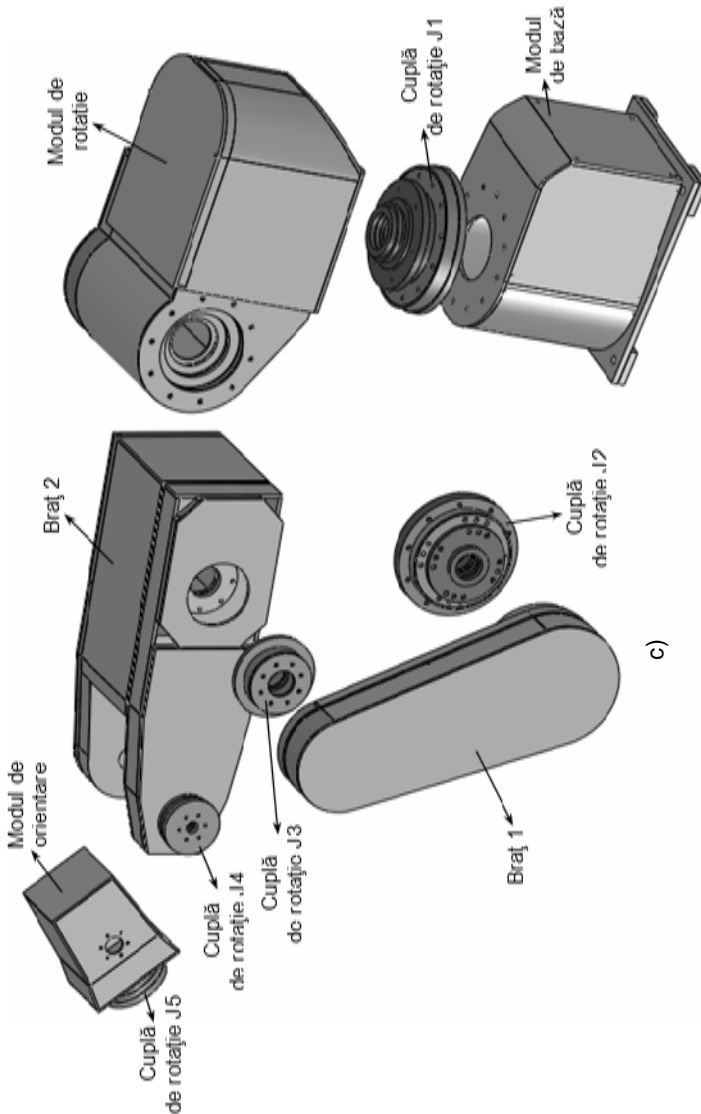


Fig.1 Robot industrial Fanuc LR Mate: c) vedere explodată

Pentru studiul stării de tensiuni a Robotului industrial Fanuc LR Mate, s-a optat pentru această metodă optică experimentală pentru că, metoda oferă numeroase avantaje, cum ar fi [1], [4], [7]:

- oferă informații full-field (pe întreaga piesă) cu privire la distribuția tensiunilor și a concentratorilor de tensiuni;

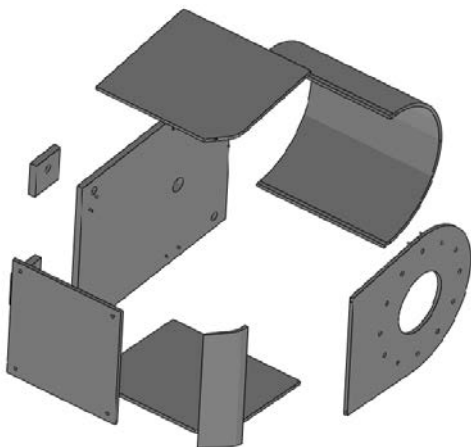
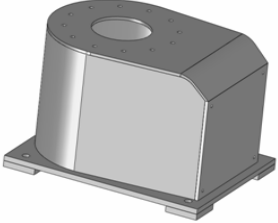
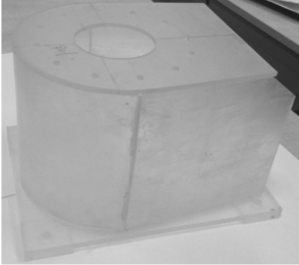


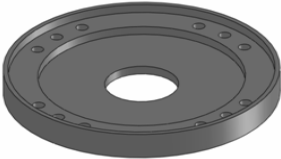
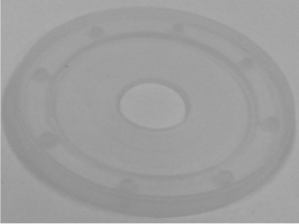


Fig. 2

Modulul
de la
baza robotului
divizat
în plăci
– vedere
explodată

Tabelul 1

	Model CAD	Model din rășină apoxidică
1. Modulul de bază al robotului		
2. Cuplă de rotație J2		
3. Element pentru susținerea cuplei J2		

- distribuția tensiunilor obținute în urma solicitărilor exterioare se păstrează printr-un procedeu de înghețare a tensiunilor, astfel că accesul la informații este nelimitat;

- modelul se poate realiza la dimensiunile piesei reale, obținându-se astfel o distribuție a tensiunilor cât mai exactă și care pot fi comparate cu studii analitice sau numerice;

- prin metoda fotoelasticimetricii se pot realiza măsurători rapide și eficiente pentru testarea preciziei rezultatelor obținute prin analize numerice și, pot servi ca etalon pentru optimizarea modelului obținut numeric;

- ajută la validarea rezultatelor obținute prin metodele analitice și, totodată, oferă posibilitatea înțelegerii mai bune a solicitărilor mecanice, a interpretării rezultatelor obținute prin imaginile oferite de polariscop;

- studiul modelului realizat din rășină epoxidică se poate realiza atât în regim static cât și în regim dinamic.

Dezavantaje: ● obținerea modelului din rășină epoxidică este un procedeu destul de laborios, necesitând un timp mai mult pentru pregătirea matrițelor de turnare și a compoziției; ● pentru obținerea unui model din rășină cu imperfecțiuni cât mai reduse (bule de aer cât mai puține, solidificarea cât mai omogenă a compoziției) sunt necesare turnarea mai multor modele; ● există riscul „fierberii compoziției” atunci când se folosește o cantitate de peste 1 kg de rășină.

3. Concluzii și direcții de cercetare

Lucrarea prezintă:

- o metodă experimentală optică cu ajutorul căreia se poate determina diferența tensiunilor principale și direcțiile acestora, precum și vizualizarea modului de distribuție a tensiunilor pe suprafața unei piese sau a unui ansamblu de piese model;

- realizarea modelului CAD și din rășină epoxidică a structurii de rezistență a robotului studiat;

- la finalul studiului experimental se dorește determinarea diferenței de tensiuni principale și a modului de distribuție a tensiunilor pe suprafața structurii de rezistență a robotului, precum și determinarea zonelor maxim solicitate.

Pe lângă metoda optică prezentată, se vor realiza studii utilizând și următoarele metode experimentale:

■ Metoda tensometriei electrice rezistive, ce are drept scop determinarea deformațiilor specifice, și apoi calculul valorilor tensiunilor maxime identificate cu metoda fotoelasticității;

■ Metoda Corelației Digitale a Imaginii cu ajutorul căreia se obțin informații cu privire la modul de deformare a structurii din rășină epoxidică sub acțiunea sarcinii exterioare, deci a deplasării la ultimul modul din structura de rezistență a robotului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bejan, M., *Rezistența materialelor*, vol. 1, 2, ediția a V-a și a IV-a. Editura AGIR, București și Editura Mega, Cluj-Napoca, 2009.
- [2] Cirello, A., Furgiuele, F., Maletta, Carmine, Pasta, A., *Numerical simulations and experimental measurements of the stress intensity factor in perforated plates*, Engineering Fracture Mechanics 75, pag. 4383- 4393, 2008.
- [3] Chen, T.Y., Chang, Y.B., Chen, J.K., *Finite element simulation of scattered-light photoelastic fringe patterns*, Proceedings of the Xith International Congress and Exposition, 2-5 Iunie, Orlando, Florida USA, 2008.
- [4] Cloud, G., *Optical Methods in Experimental Mechanics – Part 30: Photoelasticity II – Birefringence in materials*, Experimental Techniques, pag. 13-16, 2008.
- [5] Tombasco, J., *Photoelastic dynamic stress analysis using synchronized strobe techniques*.
- [6] Doyle, J.F., Phillips, J.W., *Manual on Experimental Stress Analysis- Fifth Edition*, Society for Experimental Mechanics.
- [7] Pathan, N.W., Bhope, D.V., Khamankar, S.D., *Investigation of stresses in flat belt pulley by FEM and photoelasticity*, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), vol 3, pag. 7444-7451, ISSN: 0975-5462, 2011.

Drd. Ing. Mihaela SIMION

e-mail: mihap_elly@yahoo.com

Șef lucr. Dr. Ing. Adrian-Ioan BOTEAN

e-mail: Adrian.Ioan.Botean@rezi.utcluj.ro

Prof. Univ. Dr. Ing. Mircea BEJAN

Președintele Filialei Cluj a AGIR

e-mail: Mircea.Bejan@rezi.utcluj.ro

Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, membri AGIR

NOTĂ: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Studii doctorale în științe inginerești în scopul dezvoltării societății bazate pe cunoaștere - SIDOC", contract: POSDRU/88/1.5/S/60078, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013."