

CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA OPTIMIZĂRII STRUCTURALE ÎN CADRUL PROCESULUI DE PROIECTARE DE PRODUS

RESEARCH REGARDING THE USE OF STRUCTURAL OPTIMIZATION IN THE PRODUCT DESIGN PROCESS

CREȚA Gheorghe-Cosmin

Facultatea: IIR, Specializarea: IEI, Anul de studii IV, e-mail: cosmin.creta10@gmail.com

Conducător științific: Șl.dr.ing **Manuela Roxana DIJMĂRESCU**

ABSTRACT: The paper presents general information and the state of the art regarding the use of structural optimization in the product design process. A structural optimization case study for a component of the structure of a robotic gripper is performed. The steps followed for this case study were: making the simplified 3D model with the help of Autodesk Inventor software, topological analysis with the help of Fusion 360 software, shape optimization according to software recommendations, modification of the initial model and realization of component's final model.

KEY WORDS: product design, structural optimization, gripper

1. Introducere

Continua dezvoltare a industriei a dus la impunerea utilizării unor metode de optimizare a structurilor. Scopul principal al analizei structurale este de a prezice comportamentul design-ului. Rezultatele analizelor structurale sunt utilizate pentru a evalua alternativele de design cu privire la criteriile de proiectare stabilite.

Dezvoltarea analizei structurale a elementului finit a început la mijlocul anilor 1950, odată cu disponibilitatea computerului digital „de mare viteză”. În primii ani de zile, s-au investit sume mari de bani în cu scopul de a face analiza structurală un instrument folositor pentru analiza inginerescă. Din anii 1970 metoda s-a considerat a fi bine dezvoltată și o varietate de soft-uri și-au făcut apariția pe piață. A devenit posibilă modelarea unor structuri foarte mari și foarte complexe, care înainte nu putea fi luate în considerare utilizând metode analitice. Declarația lui Schmit [1], făcută în 1984, rămâne și astăzi valabilă : “Istoric, dorința de a reduce greutatea structurală, păstrând, în special, integritatea structurală, mai ales în aplicațiile aerospațiale, a constituit o puternică forță motrică în spatele dezvoltării metodelor de optimizare structurală. Astăzi, nevoia de conservare a energiei în sistemele de transport prin reducerea greutății oferă o motivație suplimentară pentru aplicarea metodelor de optimizare structurală. Utilizarea în creștere a materialelor compozite din fibre în structuri este probabil să crească cererea de instrumente analitice moderne care să facă să exploateze pe deplin potențialul de proiectare oferit de aceste noi materiale”.

Existența unor structuri generale și a unor fiabile capabilități de analiză însoțite de creșterea continuă a puterii de calcul digitale, a dus la o creștere remarcabilă a optimizării structurale. În literatura de specialitate se întâlnesc mai multe definiții ale acestui concept, una dintre ele fiind:

Optimizarea este un proces matematic complex, iterativ care impune utilizarea calculatorului și a soft-urilor dedicate [2]. Orice mărime, a piesei, care este parametrizată poate fi optimizată, cum ar fi: dimensiunile de gabarit ale piesei, forma piesei prin crearea de raze de racordare, frecvențele proprii etc.

Pe baza funcțiilor geometrice care sunt parametrizate, descrise de variabila de proiectare, problema optimizării structurale poate fi clasificată în:

Optimizarea mărimii: variabila de proiectare, reprezintă o grosime structurală, cum ar fi o grosime distribuită sau o zonă în secțiune transversală a unui model de grinzi care poate varia. Grosimea

optimă de obicei minimizează o anumită cantitate fizică cum ar fi energia de deformare sau de deviere, în timp ce constrângerea de echilibru trebuie să fie îndeplinită [3].

Optimizarea formei: variabila de proiectare, reprezintă limita ecuației de stare. În acest caz, limita domeniului considerat, x , poate varia astfel încât o anumită cantitate fizică să fie minimizată. O sarcină tipică a optimizării formei poate fi reprezentată de reducerea la minim a nivelului de stres în unele regiuni. Metodele de optimizare a formei disponibile pot fi împărțite în metode parametrice și non-parametrice [3].

Optimizarea topologică: este un proces prin care se determină cea mai eficientă formă geometrică a unei piese. Forma optimizată a piesei se obține în urma aplicării criteriilor de optimizare. Prin optimizarea structurală se dorește determinarea tensiunilor minime ale piesei, rigiditate mare, deplasări minime, cost minim și o masă minimă a piesei [4]. Procesul de optimizare topologică este prezentat în figura 1. În interiorul figurii 1 traseul discontinuu delimitează bucla de optimizare. În urma procesului de optimizare rezultă modelul final care satisface restricțiile și condițiile impuse de funcționarea produsului final.

Scopul lucrării este acela de a prezenta importanța

utilizării optimizării structurale în procesul de proiectare de produs și exemplificarea acestui lucru printr-un studiu de caz specific.

2. Stadiul actual

Optimizarea structurală reprezintă o clasă de probleme de optimizare unde evaluarea unei funcții obiective sau a unei constrângeri necesită utilizarea de analize structurale. Pentru a formula problema de optimizare structurală trebuie introdusă o funcție obiectiv, variabile de proiectare și variabile de stare.

Funcția obiectiv reprezintă un scop care ar putea să fie de maximizare sau de minimizare. Un obiectiv tipic poate fi reprezentat de rigiditatea sau de volumul unei structuri. Variabilele de proiectare descriu designul structurii, pot reprezenta geometria. Variabilele de stare reprezintă răspunsul structural care poate fi de exemplu recunoscut ca tensiune, solicitare sau deplasare. Variabilele de stare depind de variabilele de proiectare.

Funcția obiectiv este supusă constrângerilor variabilelor de proiectare și de stare pentru a orienta optimizarea către o soluție căutată. Poate fi introdusă o funcție de stare, care reprezintă variabilele de stare, de exemplu o deplasare într-o anumită direcție. Această funcție de stare poate fi încorporată ca o constrângere la sarcina de optimizare, unde de obicei este formulat astfel încât valoarea acesteia să fie mai mic sau egal cu 0 [3].

Variabila de proiectare este de obicei un vector de parametri care descrie geometria unui produs. De exemplu (x) , $f(x)$, $g(x)$ și $h(x)$ pot fi dimensiunile produsului, greutatea produsului, o condiție de stres împotriva cedării și, respectiv, constrângerile asupra dimensiunilor produsului. În funcție de definiția variabilei de proiectare, domeniul său D poate fi continuu (de exemplu un interval continuu de lungimi ale unei bare), discret (de exemplu grosimea standard a unei plăci sau existența unui element structural într-un produs), sau o combinație a celor două. De asemenea, o variantă de optimizare structurală are mai multe obiective, în care funcția obiectivă este o funcție vectorială, mai degrabă decât o funcție scalară. Întrucât optimizarea este un proces iterativ, funcția obiectiv și funcțiile de constrângere, trebuie evaluate de mai

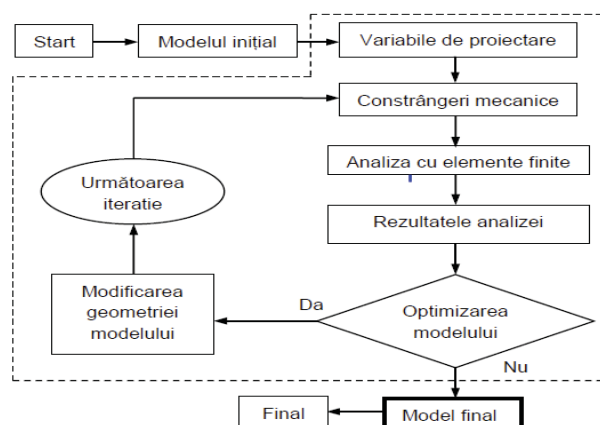


Fig. 1 Diagrama procesului de optimizare [5]

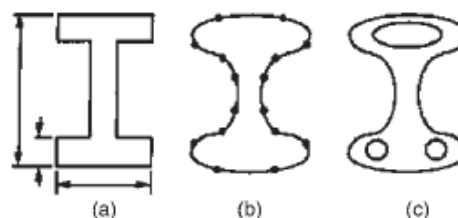


Fig. 2.1 Tipuri de constrângeri geometrice:
(a) mărime, (b) formă, (c) topologie

multe ori pentru a obține o soluție. Metodele de aproximare înlocuiesc analize structurale costisitoare în timpul iterațiilor de optimizare, deci soluția poate fi obținută într-un interval de timp rezonabil.

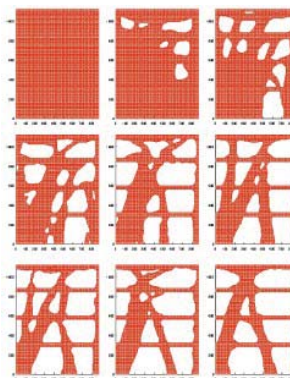
În practică, interacțiunea dintre simulare și inginerie poate fi descrisă astfel: Inginerul de simulare folosește schița de proiectare deja finalizată și o verifică prin intermediul instrumentelor de calcul, dacă sunt îndeplinite anumite cerințe sau se poate realiza o optimizare structurală. Modelele CAD ale inginerului de proiectare, în cazul în care procesul de proiectare este în prim plan, sunt adesea nepotrivite inginerului de simulare, astfel încât modelele trebuie să fie pregătite pentru noile scopuri [6]. Această situație este similară și în ordine inversă: componentele recalculat sau optimizate pot fi dificile de fabricat deoarece inginerul de simulare nu are aceleași cunoștințe de fabricație și experiență ca inginerul de proiectare. Adesea, sunt necesare multiple iterații între aceste două părți. Cu ajutorul folosirii metodelor și instrumentelor de calcul de către inginerul de proiectare, cantitatea de iterații ar putea fi redusă.

Optimizarea structurală dispune de un spectru larg de aplicabilitate în diverse industrii cum ar fi mecanică, aerospațială, inginerie civilă etc. Exemple sunt prezentate în figura 3.

-Modelul 3D al structurii centrului de convenții din Doha - iterații ale algoritmului ESO pentru proiectul Akutagawa



-Element structural optimizat prototipizat prin utilizarea tehnologiei SLS de imprimare 3D



-Aplicarea algoritmului optimizării topologice în proiectarea zgârie-norilor

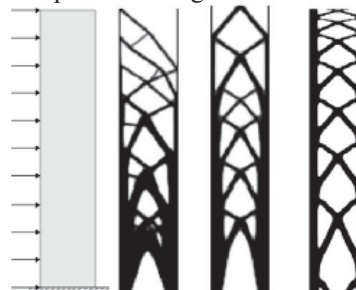


Fig. 2.2 Aplicațiile optimizării structurale

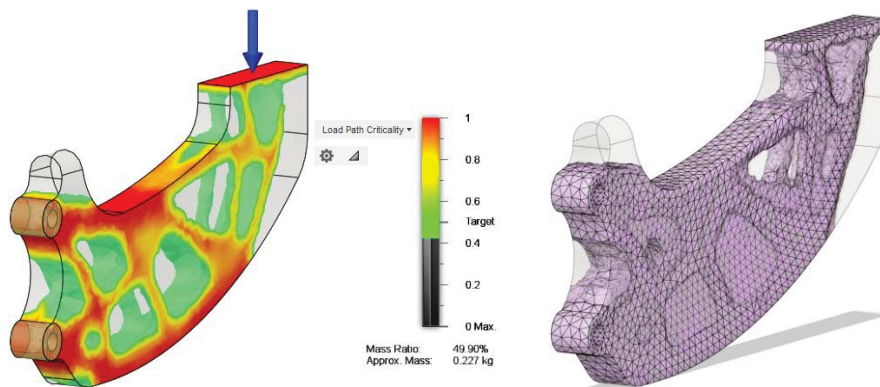
3. Studiu de caz

Tema studiului de caz este reprezentată de optimizarea structurală a unei gheare de prindere din structura unui clește robotic. Modelul inițial al piesei ce urmează a fi optimizată este prezentată în figura 3.1.

Îndeplinirea scopului studiului de caz s-a utilizat softul Fusion 360, modulul de simulare – Shape optimization. Pentru efectuarea optimizării structurale a componentei *Gheară de prindere* s-au utilizat 3 tipuri diferite de materiale, proprietățile fizico-mecanice ale acestora fiind prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Proprietăți fizico-mecanice [7]

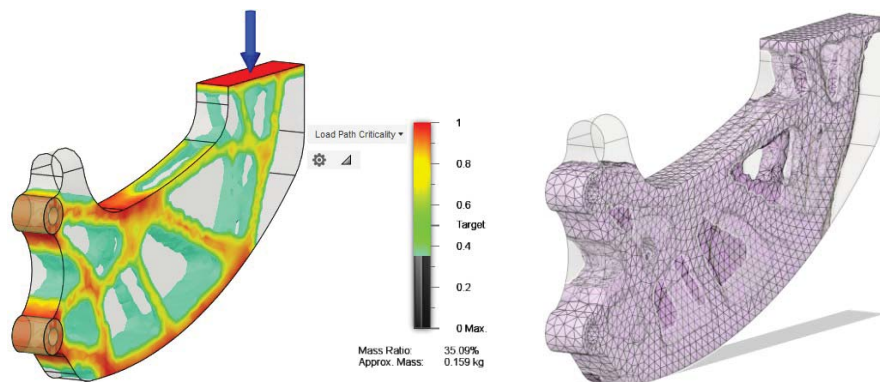
Material	STAS SR EN	Limita de curgere R_e [MPa]	Rezistența la tracțiune R_m [MPa]
E295 (OL50)	10025-2	295	470
C45 (OLC 45)	10083-2	370	580
34CrNiMo6	10083-2	540	780



a) rezultatul studiului

b) forma rezultată

Fig. 3.4 Studiul 5 (material C45, rigiditate maximă, masa $\leq 50\%$)



a) rezultatul studiului

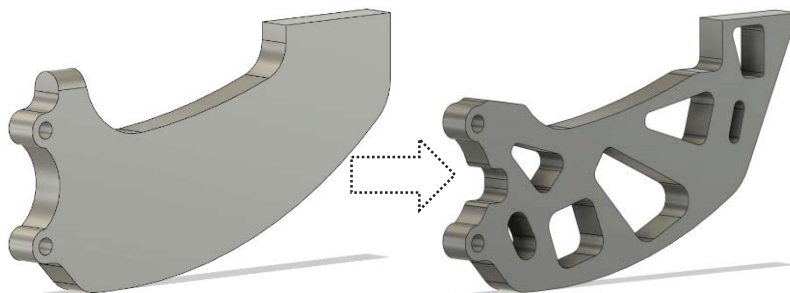
b) forma rezultată

Fig. 3.5 Studiul 6 (material C45, rigiditate maximă, masa $\leq 35\%$)

Studiile realizate s-au concentrat atât pe utilizarea mai multor tipuri de materiale dar cât și pe minimizarea masei piesei. Având în vedere rezultatele obținute prin realizarea studiilor de optimizare cu ajutorul softului Fusion 360, a fost modificată forma inițială a piesei (vezi figura 3.6a). Forma optimizată a piesei este prezentată în figura 3.6b.

A rezultat o masă a piesei finale de 0.275 kg (E295), 0.279 kg (C45) și 0.280 kg (34CrNiMo6) rezultând astfel o reducere a masei piesei cu un procent de aproximativ 61% pentru toate cele trei materiale considerate în analize. Deși studiul a dus la obținerea unei greutate minime a piesei de aproximativ 0.16 kg, pentru realizarea modelului final s-a luat în considerare faptul că piesa trebuie să aibă o formă tehnologică.

Modelul final al subansamblului Clește robotic este prezentat în figura 3.7.



a) Modelul 3D inițial

b) Modelul 3D final

Fig. 3.6 Tranziția de la modelul inițial la modelul final

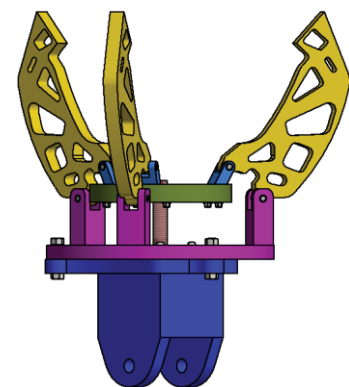


Fig. 3.7. Clește robotic

4. Concluzii

În urma realizării acestei lucrări de cercetare au rezultat următoarele concluzii:

- S-au prezentat aspecte generale ale optimizării structurale cât și stadiul actual privind importanța utilizării optimizării structurale în cadrul proiectării de produse noi.
- S-a realizat un studiu de caz aplicat pe o componentă din cadrul unui robot: gheara de prindere din cadrul subansamblului clește robotic.
- Plecând de la condițiile limită impuse ale piesei și în funcție de criteriile de optimizare luate în considerare în cadrul studiului de caz s-au realizat nouă studii de caz ce au avut ca scop optimizarea formei componentei analizate.
- Masa a piesei finale este de 0.275 kg pentru materialul E295, 0.279 kg pentru materialul C45 și 0.280 kg pentru materialul 34CrNiMo6 rezultând astfel o reducere a masei piesei cu un procent de aproximativ 61% pentru toate cele trei materiale considerate în analize.
- Rezultatele obținute în urma realizării simulărilor au contribuit la obținerea unei forme constructive noi a componentei *gheară de prindere* și implicit la reducerea masei acesteia, rezultând astfel o economie în ceea ce privește costurile cu materialul necesar fabricării acestei componente.

Cercetările viitoare privind acest domeniu al optimizării structurale vor consta în completarea informațiilor privind stadiul actual, efectuarea unor noi studii de caz asemănătoare celor prezentate în cadrul acestei lucrări pentru o evidențiere mai bună a importanței utilizării tehnicilor de optimizare structurală în cadrul proiectării de produse noi, dar și utilizarea unor noi tipuri de analiză, unde se vor lua în considerare și utilizarea altor valori ale forței la care este supusă piesa.

5. Bibliografie

- [1]. A.J.G. Schoofs, (2008), „Structural optimization history and state-of-the-art”, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Olanda.
- [2]. Emiliani, P.L., Burzagli, L., Como, A., Gabbanini, F. și Salminen, A.-L. (2009), *Assistive technology from adapted equipment to inclusive environments*, Volumul 25 al seriei Assistive Technology Research Series, Editura IOS Press, 2009, ISBN 978-1-60750-042-1.
- [3]. Robin Larsson, (2016), „Methodology for Topology and Shape Optimization”, Chalmers University of Technology, Goteborg, Suedia.
- [4]. Rozvany, G.I.N. (2009), „A critical review of established methods of structural topology optimization”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Volum 37 (3), pp. 207-237, ISSN 1615-147X.
- [5]. Scurtu, I.L., Bodea, Sanda Mariana, Jurco, Ancuta Nadia, „Design optimization method used in engineering”, *Journal of Industrial Design and Engineering Graphics*, Volum 11.
- [6]. T.Stangl, M.Pribek, S.Wartzack, (2014), „Integration of structural optimization in the engineering design process”, *International design conference*, Dubrovnik, Croația
- [7]. STANDARD NEN-EN 10025-2:2005, „Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 2: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții nealiat”.