

Phân tích tham số hạt trong tối ưu hóa hình thái học cho cấu trúc khung - vỏ

Parametric analysis of beads in topography optimization for shell-frame structure

Chu Khắc Trung*, Nguyễn Văn Tài

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: chu.trung@hau.edu.vn

Mobile: 0971533463

Tóm tắt

Từ khóa:

Cấu trúc tấm; tham số hạt;
Tối ưu hóa hình thái học;
Cấu trúc khung.

Cấu trúc tấm có thể được làm tăng độ cứng thông qua việc bố trí các hạt bên ngoài mà không làm thay đổi chiều dày, cũng như không làm mất vật liệu kết cấu. Việc sắp xếp tối ưu các hạt trên dầm, các tham số hạt thường sẽ được cân nhắc tùy theo các dạng thiết kế. Các quy định cụ thể về tham số hạt như: chiều cao, chiều rộng hạt và tham số tối ưu hình học là sẽ được lựa chọn. Sau khi có các tham số hạt, tối ưu hóa hình thái học được áp dụng để sắp xếp các hạt trên dầm công xôn. Người thiết kế có thể đạt được sự sắp xếp tốt nhất của các hạt trên dầm thông qua phần mềm thực hiện việc tối ưu. Việc nâng cao tần số tự nhiên đầu tiên của dầm trong kết cấu khung dạng vỏ là một ví dụ, quá trình tối ưu hóa hình thái học chi tiết đã được mô tả và các hạt của kết cấu đã được sắp xếp thông qua phương pháp tối ưu. Sau tối ưu, tần số tự nhiên của kết cấu khung dạng vỏ là đã tăng được 30%. Quá trình phát triển của các hạt có thể được tối ưu và chu kỳ thiết kế có thể được rút ngắn thông qua việc sử dụng phương pháp tối ưu hình thái học trong việc thiết kế làm tăng độ cứng của kết cấu tấm dạng khung - vỏ.

Abstract

Keywords:

Structure sheet; bead
parameters; Topography
Optimization; Frame
structure.

The sheet structure can be increased hardness through the placement of external particles without changing the thickness or loss of structural material. The optimal placement of beads on beams, particle parameters will usually be considered according to the type of design. Specific particle parameters such as height, grain width, and geometric optimum parameters are to be selected. After the particle parameters, morphological optimization was applied to align the beams on the beams. Designers can achieve the best placement of particle beams on the beams through software that optimizes. The first natural-frequency enhancement of beams in the shell framework is, for example, a detailed morphological optimization process described and structural particles arranged through the method Optimal. After optimization, the natural frequency of the shell structure is increased by 30%. The development of particles can be optimized and the design cycle can be shortened through the use of morphological optimization in the design of the hardening of the shell-like plate structure.

Ngày nhận bài: 15/8/2018

Ngày nhận bài sửa: 14/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

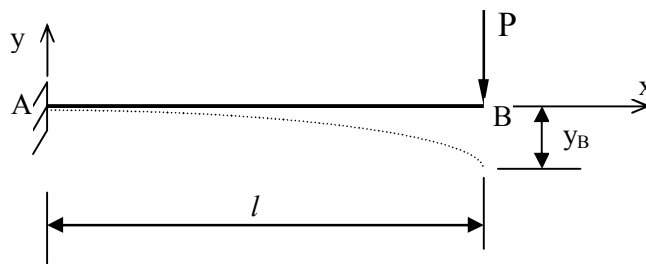
1. GIỚI THIỆU

Đối với các bộ phận cấu tạo là kim loại tấm, đập theo khung dạng hạt trên kết cấu tấm có thể tăng độ cứng của nó một cách hiệu quả mà không làm tăng chi phí vật liệu. Vì vậy, bố trí của các khung dạng hạt là một trong những điểm quan trọng của thiết kế làm tăng độ cứng của kết cấu dạng tấm. Các hình dạng của hầu hết các kết cấu tấm là phức tạp do không gian thiết kế, tính chất cơ học của tấm và các phương pháp không thống nhất về tạo hình. Ngày nay, FEA (Finite Element Analysis) được sử dụng trong thiết kế kết cấu tấm rộng [1], [2] nhưng hầu hết các nhà thiết kế đều cải thiện bố cục khung hạt thông qua trải nghiệm theo kết quả FEA. Để có được một thiết kế tốt hơn, người thiết kế phải mất nhiều thời gian cho các vòng lặp trong quá trình thiết kế, thay đổi và sắp xếp lại, việc bố trí khung hạt cuối cùng chưa hẳn đã là đề xuất tốt nhất do giới hạn về thời gian. Các nhà thiết kế cần một giải pháp mới để có được bố cục khung hạt tối ưu bằng các công cụ tiên tiến và các phương pháp phân tích thích hợp.

Để tìm cách tốt nhất thiết lập các khung hạt trên kết cấu kim loại tấm, tác giả đã nghiên cứu các thông số hạt ảnh hưởng đến độ cứng uốn của kết cấu với những dạng điển hình và hợp lý. Lý thuyết bố trí hạt dạng vòng cung, hình tròn điển hình được đưa ra và các thông số hình học hạt được tối ưu, chẳng hạn như chiều cao và chiều rộng của hạt. Các thông số được xác định bằng phương pháp tính toán số. Sau đó, phương pháp tối ưu hóa hình thái học (topography optimization), một trong các phương pháp tìm kiếm các dạng khung hạt tối ưu nhất theo các điều kiện biên ban đầu, khung hạt được bố trí trên kết cấu tấm phù hợp để có độ cứng tốt nhất. Một quy trình chi tiết về cách bố trí khung hạt thông qua tối ưu hóa hình thái học được bài báo đưa ra, với một ví dụ về một kết cấu khung-vỏ trên ô tô.

2. PHÂN TÍCH YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG CỦA THAM SỐ HẠT

Cơ sở lý thuyết về tăng độ cứng kết cấu bằng cách thêm khung hạt, các hiệu ứng của khung dạng hạt sẽ được mô tả trên một trường hợp điển hình, Theo lý thuyết cơ học vật liệu [3], cho một khung - vỏ dạng côngxon AB như trong hình 1.



Hình 1. Khung dầm côngxon AB chịu lực

Dưới tác dụng của lực P đặt tại B tạo ra độ võng tối đa y_B . Phương trình biến dạng uốn y_B tại điểm B có thể được mô tả là:

$$y_B = \frac{Pl^3}{3EI_y} \quad (1)$$

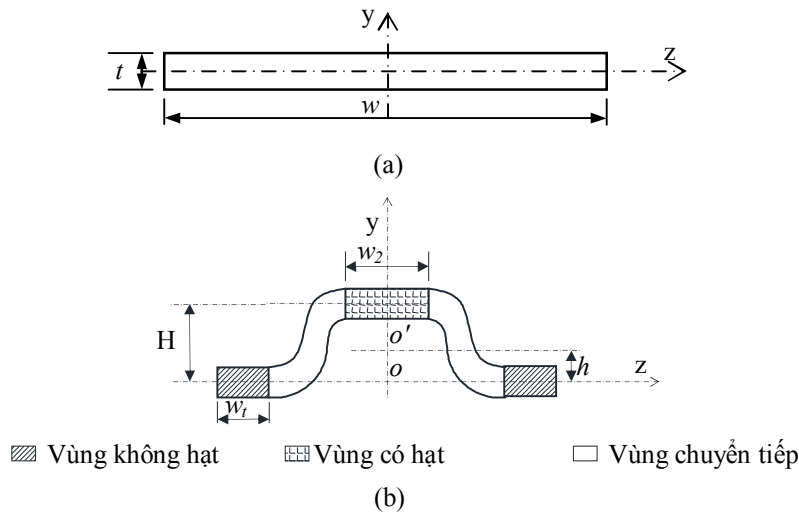
Trong đó, l là chiều dài của kết cấu; E là mô đun đàn hồi của vật liệu, I_y là mô men quán tính của của mặt cắt ứng với trục y . EI_y thể hiện độ cứng uốn của mặt cắt ứng với trục y . Mặt phẳng cắt đang xét được chọn song song với hướng biến dạng kết cấu; mặt phẳng trung bình của kết cấu là theo hướng trục.

Theo phương trình (1), nếu tải P và chiều dài của khung l không thay đổi, giá trị của y_B có thể giảm và độ cứng uốn EI_y của kết cấu có thể tăng lên bằng cách tăng I_y . Trong đó tăng I_y được thực hiện bằng việc thay đổi hình dạng mặt cắt của kết cấu.

Đối với kết cấu kim loại tấm không có khung hạt, hình dạng mặt cắt khung - vỏ chiều dài l là hình chữ nhật như trong hình (2a). Trọng tâm của nó là O . Phương trình mômen quán tính đối với trục y của mặt cắt I_y được mô tả là:

$$I_y = \frac{wt^3}{12} \quad (2)$$

Trong đó, t là độ dày của khung-vỏ, w là chiều rộng của khung-vỏ. Theo phương trình (2), biện pháp để tăng độ cứng của khung - vỏ là tăng độ dày của tấm kim loại t , nhưng như vậy chi phí vật liệu sản phẩm sẽ tăng. Giải pháp đặt ra là để tiết kiệm chi phí và khung - vỏ được tăng cứng mà không tăng chi phí vật liệu. Đối với các sản phẩm là tấm kim loại, hình dạng của phần khung - vỏ có thể được thay đổi sau khi tạo ra khung hạt và I_y của mặt cắt được tăng lên mà không phải thay đổi độ dày tấm. Phương pháp thay đổi I_y của mặt cắt sẽ được trình bày trong bài báo như sau.



Hình 2. Hình dạng của kết cấu khung - vỏ với phần có và không có hạt

Sau khi các hạt trong khung hạt được xác định, phần tạo khung hạt trong kết cấu được thể hiện trong hình (2b), H là chiều cao của hạt. Toàn bộ khu vực phần tạo khung hạt được chia làm ba phần; khu vực không có hạt, khu vực có hạt và vùng chuyển tiếp. Các ký hiệu của vùng, tọa độ trục giữa trục y với trục phân cực, trục trọng tâm của từng vùng quán tính là A_i , y_i và I_{y_i} riêng lẻ với ($i = 1, 2, 3$). Tổng chiều rộng của vùng không hạt là $2w_1$ và chiều rộng của vùng có hạt là w_2 . Sau khi tạo khung hạt, trọng tâm của mặt cắt khung - vỏ được chuyển từ gốc O sang điểm O' . Phương trình tọa độ trục y của điểm O' có thể được mô tả là:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^3 A_i y_i}{\sum_{i=1}^3 A_i} \quad (3)$$

Trong đó: $y_1 = 0$; $y_2 = H$; $y_3 \approx H/2$

Sau khi thêm khung hạt, mômen quán tính của khung vỏ đối với trục y được đổi thành I_y' và phương trình của I_y' có thể được mô tả là:

$$I_y' = I_{y1} + I_{y2} + I_{y3} = \frac{2w_1t^3}{12} + h^2 A_1 + \frac{w_2t^3}{12} + (H-h)^2 A_2 + I_{y3} \quad (4)$$

Từ phương trình (2), phương trình (4) được biến đổi như sau:

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{wt^3}{12} = \frac{(2w_1 + w_2 + w - 2w_1 - w_2)t^3}{12} \\ &= \frac{2w_1t^3}{12} + \frac{w_2t^3}{12} + \frac{(w - 2w_1 - w_2)t^3}{12} \end{aligned}$$

Hàm của I_y sẽ thay đổi một đại lượng sau khi tạo khung hạt:

$$\begin{aligned} I_{y3.0} &= \frac{(w - 2w_1 - w_2)t^3}{12}; \\ I_y &= \frac{2w_1t^3}{12} + \frac{w_2t^3}{12} + I_{y3.0} \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó, theo phương trình (4) và (5), điểm cực của trục quán tính y vùng chuyển tiếp được thay đổi từ $I_{y3.0}$ thành I_{y3} sau khi tạo khung hạt. Công thức tính toán của I_{y3} sẽ rất là phức tạp khi khung hạt tạo ra là bất thường. Nhưng theo tính toán thì chắc chắn $I_{y3} > I_{y3.0}$ và chiều rộng của vùng chuyển tiếp nhỏ hơn so với tổng số vùng có hạt và vùng không hạt trong các sản phẩm khung thực tế, do đó tác động của I_{y3} và $I_{y3.0}$ trên I_y' và I_y là rất ít và sẽ bị bỏ qua trong các tính toán sau này. Nếu ta lấy phương trình (4) trừ phương trình (5) thì phương trình thể hiện sự tăng của mômen quán tính sau khi tạo khung hạt đối với trục y là ΔI_y được mô tả là:

$$\begin{aligned} \Delta I_y &= I_y' - I_y = h^2 A_1 + (H-h)^2 A_2 \\ &= 2h^2 w_1 t + (H-h)^2 w_2 t \end{aligned} \quad (6)$$

Theo tính toán trong phương trình (3) và phương trình (6). Chúng ta có thể đưa ra các kết luận như sau:

* Sau khi tạo khung hạt, độ dày t và tổng chiều rộng w của khung - vỏ không thay đổi về cơ bản và chi phí vật liệu của khung - vỏ không tăng; sự tăng của mômen quán tính của phần khung - vỏ là bằng ΔI_y do sự thay đổi của hình dạng hình học phần khung - vỏ;

* Chiều cao của trọng tâm khung - vỏ h tăng lên do sự tăng chiều cao H của khung hạt. Vì ΔI_y là tỷ số trực tiếp với bình phương của H và h , nên giá trị của H có thể tăng lên nếu khung hạt được tạo ra;

* Sau khi ΔI_y thay đổi khi tạo ra khung hạt, các thông số h , w_1 và w_2 là ràng buộc bởi nhau. Nếu H là hằng số, theo phương trình (6) có một giá trị duy nhất của w_2 tương ứng với mức tối đa của ΔI_y . Vì vậy, việc xác định giá trị tối ưu của w_2 là cần thiết để làm tăng ΔI_y .

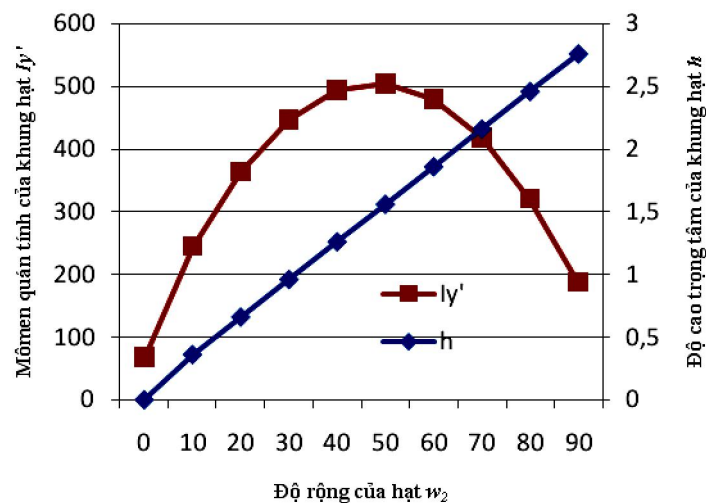
Do giới hạn độ dày vật liệu tấm kim loại và quá trình tạo khung hạt thường sử dụng công nghệ dập [4]. Do vậy, giới hạn tối đa của chiều cao khung hạt H bị hạn chế trong thiết kế các kết cấu sử dụng khung - vỏ, vì vậy giá trị của H lớn nhất được xác nhận thông qua đặc tính tạo hình của vật liệu khung - vỏ và được xác định trước khi tính toán thiết kế. Việc tối đa giá trị ΔI_y là

việc xác định giá trị tối ưu của chiều rộng hạt w_2 để tăng độ cứng cho khung-vỏ. Để có được giá trị tốt nhất của w_2 và tối đa hóa giá trị $I_{y'}$, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp tích phân tham số, sử dụng trong các tham số hình học của phần khung hạt như trong Hình 2 (b) ($w = 100\text{mm}$; $t = 2\text{mm}$; $H = 3\text{mm}$). Chiều rộng hạt w_2 được thay đổi từ 0mm đến 90mm với mỗi bước là 10mm. Từ đó nghiên cứu cũng tính toán ra chiều cao h điểm cực trên trục y và mômen quán tính khung hạt $I_{y'}$. Kết quả tham số được tóm tắt trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính toán tham số h và $I_{y'}$

w_2 (mm)	h (mm)	$I_{y'}$ (mm ⁴)
0	0	66,7
10	0,36	244,7
20	0,66	363,5
30	0,96	446,4
40	1,26	493,2
50	1,56	503,9
60	1,86	478,7
70	2,16	417,5
80	2,46	320,4
90	2,76	187,1

Vậy, theo các tham số tính toán trong bảng 1, đồ thị quan hệ của h và $I_{y'}$ tương ứng với độ rộng hạt w_2 được thể hiện như hình 3.



Hình 3. Đồ thị của h và $I_{y'}$ tương ứng với w_2

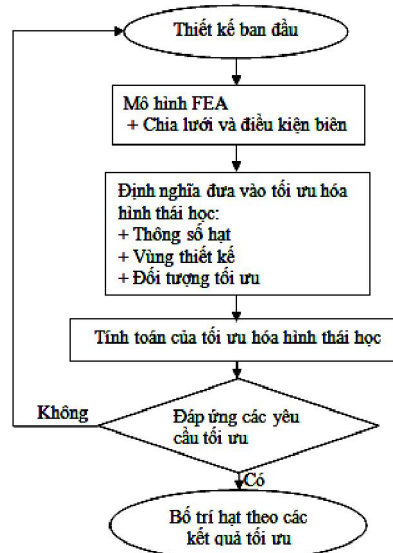
Theo bảng 1 và hình 3, giá trị mômen quán tính đối với trục y sau khi tạo ra khung hạt tăng tối thiểu là 3 lần ($w_2 = 90\text{ mm}$) hoặc tối đa 7,5 lần ($w_2 = 50\text{ mm}$) so với khung-vỏ khi không tạo khung hạt ($w_2 = 0\text{ mm}$). Qua đó, chứng minh rằng khung-vỏ có thể tăng độ cứng hiệu quả bằng cách tạo khung hạt. Cùng với sự thay đổi chiều rộng hạt w_2 hoặc chiều cao trọng tâm h theo quy luật tuyến tính thì giá trị mômen quán tính $I_{y'}$ cũng sẽ thay đổi theo quy tắc đường cong Conic. Giá trị của $I_{y'}$ đạt đến mức tối đa khi chiều rộng hạt w_2 là bằng 50 mm, bằng một nửa tổng chiều rộng khung hạt. Chiều cao trọng tâm khung hạt h bằng 1,56 mm khi ở giữa phạm vi chiều cao khung hạt (-1mm; 4 mm).

Chiều rộng khung hạt có ảnh hưởng lớn đến mômen quán tính I_y' đối với trục y . Độ lớn tối đa của I_y' ($w_2 = 50$ mm) lớn hơn hai lần so với khi chiều rộng của hạt nhỏ nhất ($w_2 = 10$ mm) hoặc lớn nhất ($w_2 = 90$ mm).

3. GIỚI THIỆU CÁC QUY TRÌNH TỐI ƯU HÓA HÌNH THÁI HỌC TRONG THIẾT KẾ TẠO KHUNG HẠT

Trong quá trình thực hiện việc thiết kế tạo khung hạt trên kết cấu khung - vỏ. Các vùng khung hạt không dễ dàng được định nghĩa và tạo ra, bởi vì hình dạng của khung - vỏ là phức tạp, ảnh hưởng do tải trọng tác dụng, phụ thuộc vị trí lắp ráp và công nghệ tạo ra khung hạt... Các lý thuyết và phương pháp cũ không thể nhanh chóng giải quyết được vấn đề trên. Các phương pháp truyền thống chủ yếu tối ưu hóa kích thước, trong đó tập trung vào việc tối ưu hóa một số thông số kích thước cụ thể của sản phẩm, chẳng hạn như độ dày khung - vỏ. Do vậy, cấu trúc và hình dạng của sản phẩm không thay đổi cùng một lúc. Các phương pháp cũ không thể áp dụng tạo ra khung hạt bởi vì cấu trúc khung - vỏ được thay đổi rất nhiều sau khi tạo ra khung hạt.

Để đáp ứng yêu cầu phát triển, một số phương pháp mới tối ưu hóa đã ra đời và được áp dụng trong quá trình phát triển sản phẩm. Tối ưu hóa hình thái học là một trong những phương pháp tiêu biểu. Tối ưu hóa hình thái học là một kỹ thuật tối ưu hóa cho phép nâng cao độ cứng của kết cấu và thường là các kết cấu dạng vỏ [5] [6]. Tối ưu hóa hình thái học có thể được coi là một loại tối ưu hóa hình dạng đặc biệt (tối ưu hóa vị trí lưới) [7]. Trong tối ưu hóa hình thái học, lưới của vùng thiết kế được phép di chuyển theo hướng pháp tuyến của các phân tử vỏ hoặc theo bất kỳ hướng cụ thể khác định trước. Tối ưu hóa hình thái học cho phép các nút của lưới tìm kiếm vị trí tốt nhất theo điều kiện biên và sự kết hợp tuyến tính tốt nhất của các nút, các phân tử trong mô hình lưới. Một ứng dụng quan trọng của tối ưu hóa hình thái học là tạo ra khung hạt để tăng độ cứng của kết cấu dạng vỏ.



Hình 4. Lưu đồ tạo khung hạt bằng tối ưu hình thái học

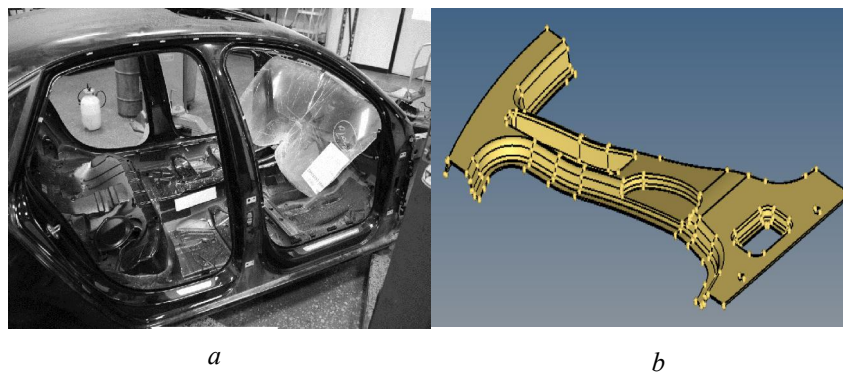
Để thực hiện quá trình tối ưu hóa hình thái học, mô hình tối ưu cần phải thực hiện một số bước sau: tạo các mô hình FEA và tiến hành chia lưới với các điều kiện biên được thiết lập; mô hình tối ưu hóa phải được phần mềm xác nhận; các thông số hình học của hạt phải được đưa vào, bao gồm: chiều cao hạt, chiều rộng tối thiểu và góc rút của hạt; các vùng thiết kế của kết cấu

phải được xác định. Sau khi hoàn thành các bước trên, việc bố trí tối ưu khung hạt có được tính toán bằng phần mềm tối ưu hóa hình thái học, chẳng hạn như OptiStruct (một nhánh tối ưu của phần mềm Hyperwork). Nếu kết quả của tối ưu hóa hình thái học không đáp ứng các yêu cầu. Phần mềm sẽ tiến hành cách cải thiện khung hạt thông qua việc thêm các hạt trên vùng thiết kế.

Giai đoạn thiết kế, tạo khung hạt sẽ giảm đáng kể do quá trình được tối ưu thông qua phần mềm tối ưu. Lưu đồ tối ưu hóa khung hạt được thể hiện trong hình 4.

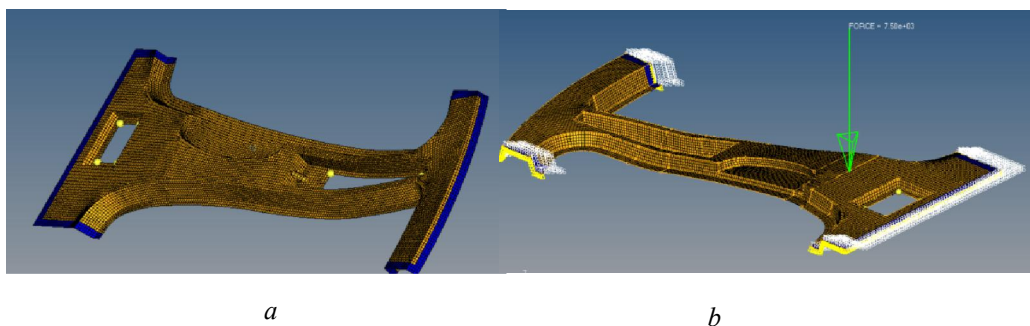
4. VÍ DỤ TẠO HÌNH KHUNG HẠT BẰNG TỐI ƯU HÓA HÌNH THÁI HỌC

Trong nghiên cứu này, phần mềm Hypermesh được áp dụng để tối ưu hóa hình thái học của một khung - vỏ trên khung ô tô hình 5 (a). Mục tiêu thiết kế là tối ưu hóa khung - vỏ để tạo ra độ cứng tối đa, trọng lượng là không đổi và không ảnh hưởng đến lắp ráp và đặc tính thiết kế của nó. Điều này có ý nghĩa quan trọng đối với việc đảm bảo an toàn tốt nhất khi xe có va đập.



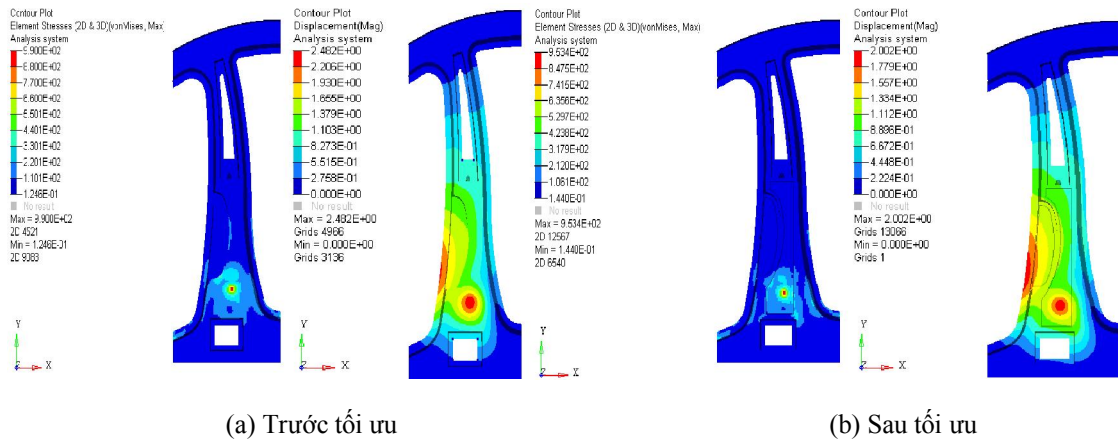
Hình 5. Khung xe ô tô và kết cấu thực hiện việc tối ưu

Hình 5 (b) là bản thiết kế 3D của một kết cấu khung xe được đưa vào trong môi trường làm việc của HyperMesh. Chi tiết được vẽ bằng phần mềm PTC-Creo, sau đó được chuyển sang định dạng IGES rồi đưa vào HyperMesh. Chi tiết được thiết kế với độ dày là 3,5 mm, vật liệu chế tạo là thép.



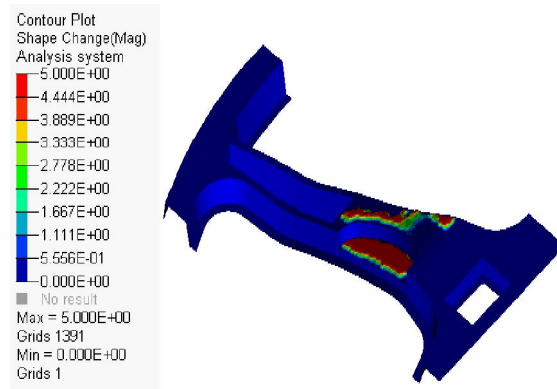
Hình 6. Chia lưới, đặt lực và các điều kiện biên của mô hình

Hình 6 thể hiện sự lưới hóa mô hình kết cấu hình 6 (a) và lực tác dụng lên mô hình được chọn thông qua các tài liệu khảo sát là 7500N hình 6 (b). Trong quá trình tối ưu, phần mềm sẽ tiến hành tính toán tần số tự nhiên đầu tiên và mô hình FEA sẽ được xây dựng trong phần mềm HyperMesh. Mỗi lần áp dụng tối ưu, các phần tử và nút của lưới sẽ dịch chuyển theo phương pháp tuyến với phần tử để được vị trí thỏa mãn điều kiện tần số tự nhiên đầu tiên là lớn nhất.



Hình 7. Ứng suất và chuyển vị của kết cấu dưới tác dụng của ngoại lực trước và sau tối ưu

Hình 7 là sự thể hiện việc so sánh kết quả tính toán hai đặc tính cơ học cơ bản trên kết cấu là chuyển vị và ứng suất trước tối ưu hình 7 (a) và sau tối ưu hình thái học hình 7 (b). Các số liệu tính toán đã cho thấy về sự thay đổi đặc tính cơ học của kết cấu, sau tối ưu kết cấu có độ dịch chuyển và ứng suất nhỏ hơn. Điều đó cho thấy kết cấu sau tối ưu có độ cứng tốt hơn.



Hình 8. Mô hình kết cấu sau tối ưu hình thái học

Hình 8 là mô hình hình học kết cấu được tạo ra sau tối ưu hóa hình thái học với kết cấu khung - vỏ chịu lực như đã nêu. Việc tạo hạt trên kết cấu đã làm thay đổi hình dạng hình học kết cấu, sau khi tối ưu ứng suất kết cấu đã giảm được khoảng 36,6 MPa, độ chuyển vị đã giảm được 0,48 mm. Độ giảm của chuyển vị và ứng suất thay đổi phụ thuộc vào chiều cao và kiểu dáng của khung hạt được tạo ra. Đó cũng thể hiện đặc tính thông số hình học hạt sẽ quyết định độ cứng và độ ổn định của kết cấu.

5. KẾT LUẬN

Theo những kết quả nghiên cứu về việc tạo khung hạt trong bài báo này, nó đã thể hiện quy tắc của thông số hạt. Thông số hạt sẽ là yếu tố quyết định tạo lên độ cứng cho kết cấu dạng khung - vỏ. Phương hướng của hình dạng và thông số hình học của hạt là hai đại lượng lớn nhất tạo ra độ cứng của kết cấu.

Chiều cao của hạt ảnh tạo ra nên độ cứng của khung - vỏ, nhưng chiều cao của hạt bị giới hạn bởi đặc tính cơ học của vật liệu. Theo cơ sở lý thuyết đã nêu, khi chiều cao của hạt bị hạn chế thì chiều rộng của hạt sẽ ảnh hưởng tới độ cứng của khung - vỏ. Độ cứng của khung-vỏ sẽ đạt tối đa khi chiều rộng khu vực có hạt lớn hơn khu vực không có hạt hoặc chiều cao trọng tâm là ở giữa xét trên toàn bộ mặt cắt theo hướng tạo hạt.

Để thỏa mãn điều kiện về giá thành mà vẫn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, việc chọn lựa vùng thiết kế để tạo ra chiều cao hạt tối đa là một vấn đề đã được giải quyết trong nghiên cứu thông qua việc tối ưu hình thái học. Trong ví dụ đưa ra của nghiên cứu đã cho thấy tính ưu việt của việc ứng dụng công nghệ cao trong thiết kế kỹ thuật nói chung và công nghệ ô tô nói riêng, việc tối ưu hình thái học cho chúng ta thỏa mãn về yêu cầu kỹ thuật với giá thành hợp lý nhất. Các khung hạt tốt nhất nhận được bằng phương pháp tối ưu địa hình và tần số tự nhiên đầu tiên của kết cấu được cải thiện hiệu quả sau khi tạo ra các hạt trên bề mặt khung - vỏ. Kim loại tấm thông qua tối ưu hóa địa hình, quá trình thiết kế hạt được hoàn thành một cách nhanh chóng và hiệu quả, nghiên cứu đã cho thấy đó là phương pháp tốt hơn so với phương pháp truyền thống.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lagache, Jean-Marie, Samir Assaf, and Christian Schulte. "Finite element synthesis of structural or acoustic reacceptances in view of practical design applications." *Journal of Sound and Vibration* 310.1 (2008): 313-351.
- [2] Li, Shande, and Qibai Huang. "A fast multiple boundary element method based on the improved Burton–Miller formulation for three-dimensional acoustic problems." *Engineering Analysis with Boundary Elements* 35.5 (2011): 719-728.
- [3] Hearn E.J., *Mechanical of Meterials*, Third Edition . Butterworth Heinemann Publication. 1997.
- [4] Marciniak Zdzislaw, Duncan J.L., Hu S.J., *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Second Edition, Butterworth Heinemann Publication. 2002.
- [5] Trung, Chu Khac, and Yu Dejie. "Control of Structural Acoustic Radiation Based on Topography Optimization." *Journal of Automation and Control Engineering Vol 3.3* (2015).
- [6] Trung, Chu Khac, and Yu DeJie. "Acoustic radiation analysis of topographically optimized structure using the direct boundary element method." *Advances in Mechanical Engineering* 7.5 (2015): 1687814015584279.
- [7] Jia, Wei-xin, Zhi-yong Hao, and Jin-cai Yang. "Low noise design of oil pan based on topography optimization." *Journal-zhejiang University Engineering Science* 41.5 (2007): 770.