

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

BÙI XUÂN THẮNG

**PHÁT TRIỂN CÁC PHƯƠNG PHÁP SỐ
NHẪM PHÂN TÍCH VÀ TỐI ƯU HÓA
CÁC KẾT CẤU TẮM VỎ ĐƯỢC GIA
CƯỜNG GÂN**

Ngành: Cơ học vật thể rắn

Mã số ngành: 62 44 21 01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ TOÁN HỌC

Tp. Hồ Chí Minh năm 2019

Công trình được hoàn thành tại: Khoa Toán – Tin học, trường Đại học Khoa học Tự nhiên.

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Nguyễn Thời Trung
2. GS.TS. Ngô Thành Phong.

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Trung Kiên

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Văn Hiếu

Phản biện 3: PGS.TS. Nguyễn Quốc Hưng

Phản biện độc lập 1: PGS.TS. Nguyễn Quốc Hưng

Phản biện độc lập 2: PGS.TS. Nguyễn Trọng Phước

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp cơ sở
đào tạo họp tại trường Đại học Khoa học Tự nhiên

vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Tổng hợp Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

MỞ ĐẦU

Kết cấu tấm/vỏ là loại kết cấu được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật như: xây dựng dân dụng và công nghiệp, kỹ thuật giao thông (như ô tô, tàu thủy, ...), kết cấu hàng không (như máy bay, tàu không gian, ...), v.v. Sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật đã thúc đẩy các nhà khoa học không ngừng cải tiến các kết cấu tấm/vỏ thông thường thành các kết cấu mới có các đặc tính phù hợp với nhiều mục đích khác nhau; có thể kể đến như là: tấm/vỏ composite, tấm/vỏ có cơ tính thay đổi (FGM), tấm/vỏ áp điện, tấm/vỏ được gia cường hoặc kết hợp các loại này lại với nhau. Tấm/vỏ composite có nhiều ưu điểm nhưng cũng có những hạn chế trong việc chế tạo và sản xuất. Tấm/vỏ được gia cường có thể được xem như là một loại tấm/vỏ composite. Tuy nhiên, với cùng một mục đích là tăng cường khả năng chịu lực của tấm/vỏ ban đầu, thì tấm/vỏ gia cường lại có cấu trúc đơn giản hơn nhiều so với tấm/vỏ composite; và do đó thường được sử dụng rộng rãi trong thực tế.

Trên thế giới, tấm và vỏ được gia cường (như gia cường sợi, gia cường dầm, gân, vv...) đã được nghiên cứu từ đầu những năm 1950-1960. Trong khoảng thời gian từ năm 1950 đến năm 2000, các nghiên cứu đa phần đều dựa trên lý thuyết tấm/vỏ mỏng và sử dụng các phương pháp giải tích và bán giải tích để giải các bài toán trên. Trong thời gian gần đây, các nhà nghiên cứu đã tập trung sử dụng các phương pháp số, đặc biệt là phương pháp phần tử hữu hạn, để giải các bài toán trên. Trong phân tích tấm vỏ gia cường, có hai giả thiết thường được sử dụng bao gồm: 1) xem tấm và vỏ gia cường là một loại vật liệu composite bất đẳng hướng; và 2) tách tấm và vỏ gia cường thành hai thành phần là tấm vỏ và các gân dọc lập trước khi sử dụng điều kiện tương thích chuyển vị để kết nối chúng lại. Với nhiều lợi thế như mô hình đơn giản và kết quả phù hợp với thực tế nên giả thiết thứ hai được sử dụng ngày càng nhiều. Đối với tấm và vỏ gia cường, đã có

nhiều phần tử được áp dụng dựa trên lý thuyết tấm và vỏ mỏng, và do đó cần sử dụng phần tử hữu hạn bậc cao. Tuy nhiên, phần tử hữu hạn bậc cao lại có bất lợi là số bậc tự do lớn và độ phức tạp tính toán cũng tăng lên khi hình dạng của kết cấu phức tạp. Ngược lại, các phần tử dựa trên lý thuyết tấm/vỏ Mindlin-Reissner lại đơn giản hơn, có chi phí tính toán thấp và có thể sử dụng các phần tử tuyến tính đơn giản như phần tử tam giác ba nút, phần tử tứ giác bốn nút để giải. Đặc biệt, các ưu điểm này của các phần tử dựa trên lý thuyết tấm/vỏ Mindlin-Reissner càng tỏ ra thuận lợi và phát huy tốt khi tích hợp các phương pháp phân tích ứng xử kết cấu với các giải thuật tối ưu hóa có chi phí tính toán cao để giải các bài toán tối ưu hóa kết cấu.

CHƯƠNG 1 LÝ THUYẾT TẤM VÀ VỎ GIA CƯỜNG

1.1 Một số phương pháp nghiên cứu kết cấu tấm và vỏ gia cường

Trong quá trình nghiên cứu tấm vỏ gia cường, nhiều giả thiết đã được sử dụng để mô hình toán học cấu trúc này. Trong đó có thể chia thành hai hướng tiếp cận chính là: 1) đồng nhất hóa; và 2) phân tích độc lập tấm và gân gia cường.

Có tất cả ba phương pháp đồng nhất dùng để mô hình tấm gia cường. Ý tưởng chính của các phương pháp này là thay cấu trúc tấm gia cường bằng một cấu trúc có tính chất tương đương với nó.

Phương pháp thứ nhất mô hình hóa tấm gia cường gân thành tấm trực hướng. Phương pháp thứ hai mô hình hóa tấm gia cường như một hệ khung. Tấm gia cường được thay bởi một cấu trúc phẳng gồm nhiều dầm đan xen với nhau. Tính chất tương đương của các dầm được xác định từ các tính chất của gân gia cường và bằng cách xét đến bề ngang hiệu dụng của tấm. Phương pháp thứ ba mô hình hóa các gân gia cường nằm trong một phần tử tấm thành các đường nút của phần tử tấm. Nói cách khác, lưới phần tử hữu hạn xác định vị trí của các gân.

Hướng tiếp cận thứ hai là xem xét riêng biệt tấm và gân gia cường, đồng thời duy trì sự tương thích cho cả hai. Đầu tiên, tấm được mô hình bằng các phần tử tấm và gân được mô hình bằng các phần tử dầm. Trong mô hình này, sự bố trí của gân bắt buộc phải theo sự bố trí của lưới phần tử hữu hạn của tấm.

Chương này trình bày lý thuyết tấm và vỏ được gia cường gân dựa trên hướng tiếp cận: tấm và gân được giả thuyết ứng xử như tấm (hoặc vỏ) và dầm độc lập, trước khi được kết hợp thành cấu trúc tấm (vỏ) gia cường bằng phương pháp năng lượng.

1.2 Công thức tấm và vỏ gia cường

1.2.1 Công thức tấm Mindlin-Reissner

Trong luận án, tác giả sử dụng hướng tiếp cận năng lượng toàn cục để xây dựng công thức dạng yếu. Hướng tiếp cận này cho nhiều ưu điểm như: 1) đơn giản trong việc tích hợp tấm và dầm gia cường vào trong một công thức thông qua biểu thức năng lượng; 2) có thể tách rời tấm và dầm để phân tích bằng phần tử hữu hạn; 3) phù hợp với ứng xử thực tế của cấu trúc tấm hoặc vỏ gia cường. Tấm được mô hình bằng giả thuyết do Mindlin-Reissner đề xuất. Theo mô hình tấm Mindlin-Reissner này, bài toán tấm được đưa về bài toán ứng suất phẳng với các trường chuyển vị, biến dạng và ứng suất là các hàm theo hai biến x và y . Tương tự, gân gia cường được mô hình theo giả thiết Timoshenko (tương ứng với giả thiết Mindlin-Reissner của tấm). Điều kiện tương thích chuyển vị tại vị trí liên kết giữa tấm và dầm sẽ được áp dụng cùng với phương pháp năng lượng để tìm ra công thức dạng yếu của bài toán. Sau cùng, phương pháp số phần tử hữu hạn tron hóa CS-DSG3 sẽ được áp dụng để tính toán số cho cấu trúc này.

Năng lượng biến dạng đàn hồi của tấm

$$U_p^E = \frac{1}{2} \left[\iint_{\Omega} \mathbf{u}^T (\mathbf{L}_p^m)^T \mathbf{D}^m \mathbf{L}_p^m \mathbf{u} \, d\Omega + \iint_{\Omega} \mathbf{u}^T (\mathbf{L}_p^b)^T \mathbf{D}^b \mathbf{L}_p^b \mathbf{u} \, d\Omega + \iint_{\Omega} \mathbf{u}^T (\mathbf{L}_p^s)^T \mathbf{D}^s \mathbf{L}_p^s \mathbf{u} \, d\Omega \right]. \quad (1.8)$$

Động năng của tấm được tính bởi công thức

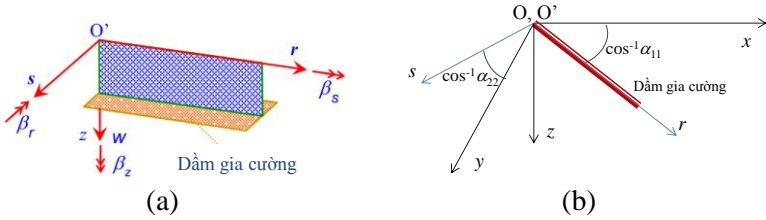
$$T_p = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} \dot{\mathbf{u}}^T \mathbf{m}_p \dot{\mathbf{u}} d\Omega, \quad (1.10)$$

Năng lượng biến dạng hình học được tính bởi công thức sau

$$U_p^G = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} \mathbf{u}^T (\mathbf{L}_p^G)^T \boldsymbol{\sigma}_0 \mathbf{L}_p^G \mathbf{u} d\Omega. \quad (1.20)$$

1.2.2 Công thức dầm gia cường

Đối với dầm gia cường, dầm được giả thiết đặt lệch một góc so với trục x như Hình 1.2 và ảnh hưởng cong vênh của dầm được bỏ qua. Ngoài ra, chuyển vị của dầm và tấm tại vị trí tiếp xúc là như nhau và không có các chuyển vị theo phương ngang của dầm và góc xoay quanh trục z .



Hình 1.2. Dầm gia cường: a) quy ước chiều dương của các góc xoay; b) hệ tọa độ địa phương đặt trên dầm gia cường $O'rsz$ và hệ tọa độ địa phương của tấm $Oxyz$.

Với các giả thiết như trên, các thành phần năng lượng của dầm gia cường được cho như sau

Năng lượng biến dạng đàn hồi

$$U_{St}^E = \frac{1}{2} \int_l \mathbf{u}_{St}^T (\mathbf{L}_{St}^E)^T \bar{\mathbf{D}}^{St} \mathbf{L}_{St}^E \mathbf{u}_{St} dl. \quad (1.34)$$

Động năng của dầm

$$T_{St} = \frac{1}{2} \int_l \dot{\mathbf{u}}_{St}^T \mathbf{A}^T \mathbf{m}_{St} \mathbf{A} \dot{\mathbf{u}}_{St} dl. \quad (1.36)$$

Năng lượng biến dạng hình học

$$U_{St}^G = \iiint_V (\bar{\boldsymbol{\sigma}}_{St}^0)^T \boldsymbol{\varepsilon}_{St}^G dV . \quad (1.40)$$

1.2.3 Công thức vô thoả

Vỏ được gọi là thoả nếu bán kính cong của nó lớn hơn nhiều so với các chiều còn lại. Hơn nữa, khi phân hoạch vỏ thoả thành hữu hạn các phần tử thì mỗi phần tử vỏ sẽ tương đương với một phần tử tấm trong không gian ba chiều. Trong trường hợp này, ta có thể xấp xỉ phần tử vỏ thoả (cong) bằng một phần tử tấm phẳng trong không gian ba chiều. Trong công trình này, tác giả sử dụng phần tử tấm Mindlin-Reissner để xấp xỉ phần tử vỏ thoả. Các bước xấp xỉ được thực hiện như sau: i) phân hoạch vỏ thoả thành hữu hạn các phần tử phẳng trong không gian ba chiều, ii) xấp xỉ các phần tử phẳng bằng phần tử tấm Mindlin-Reissner trong hệ tọa độ địa phương, iii) sử dụng phép biến đổi tọa độ biến phần tử tấm Mindlin-Reissner thành phần tử phẳng trong không gian ba chiều.

1.2.4 Công thức dạng yếu cho bài toán tấm/vỏ gia cường

Để xây dựng công thức dạng yếu từ phương trình bảo toàn năng lượng, tác giả sử dụng nguyên lý biến phân Hamilton như sau

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta W + \delta T - \delta U) dt = 0 \quad (1.54)$$

với W là công do ngoại lực gây ra.

Từ các công thức dạng yếu trong phương trình (1.59), tác giả sử dụng phần tử tấm CS-DSG3[15], [70] để tính ma trận độ cứng của phần tử tấm. Hơn nữa, do phần tử tấm gặp được mô hình trong không gian ba chiều nên cần sử dụng phép biến đổi tọa độ từ hệ tọa độ địa phương sang hệ tọa độ toàn cục. Kết quả tính toán cho ra ma trận độ cứng phần tử cho tấm ghép composite nhiều lớp có dạng

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{K}}_e = \mathbf{T}^T & \left(\int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_m^T \mathbf{D}_m \tilde{\mathbf{B}}_m d\Omega + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_b^T \mathbf{D}_b \tilde{\mathbf{B}}_b d\Omega + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_s^T \mathbf{D}_s \tilde{\mathbf{B}}_s d\Omega + \right. \\ & \left. + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_m^T \mathbf{D}_{mb} \tilde{\mathbf{B}}_b d\Omega + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_b^T \mathbf{D}_{mb} \tilde{\mathbf{B}}_m d\Omega \right) \mathbf{T} \end{aligned} \quad (1.62)$$

trong đó \mathbf{T} là ma trận chuyển tọa độ từ hệ tọa độ địa phương $O'xyz$ sang hệ tọa độ toàn cục $OXYZ$ như Hình 1.7. Một vấn đề cần quan tâm ở đây đó là các ảnh hưởng trong mặt phẳng của vỏ không tác động lên biến dạng uốn và ngược lại, do đó góc xoay quanh trục $z - \beta_z$, không gây ra biến dạng của vỏ. Vì thế, sẽ không có độ cứng tương ứng với bậc tự do góc xoay β_z và điều này sẽ làm xuất hiện hiện tượng giảm hạng của ma trận độ cứng toàn cục khi tất cả các phần tử là đồng phẳng. Và để giải quyết vấn đề này, tác giả sẽ sử dụng phần tử ứng suất phẳng Allman [28].

Sau khi áp dụng phần tử ứng suất phẳng cho thành phần biến dạng màng và góc xoay quanh trục z , ma trận màng của phần tử tam giác ba nút sẽ được thay bằng ma trận biến dạng màng của phần tử Allman có dạng

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{K}}_e = \mathbf{T}^T & \left(\int_{\Omega_e} (\mathbf{B}_m^{Allman})^T \mathbf{D}_m \mathbf{B}_m^{Allman} d\Omega + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_b^T \mathbf{D}_b \tilde{\mathbf{B}}_b d\Omega + \right. \\ & \left. + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_s^T \mathbf{D}_s \tilde{\mathbf{B}}_s d\Omega + \int_{\Omega_e} (\mathbf{B}_m^{Allman})^T \mathbf{D}_{mb} \tilde{\mathbf{B}}_b d\Omega + \int_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}_b^T \mathbf{D}_{mb} \mathbf{B}_m^{Allman} d\Omega \right) \mathbf{T} \end{aligned} \quad (1.63)$$

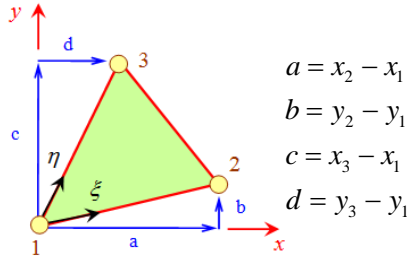
Việc kết hợp phần tử CS-DSG3 và phần tử ứng suất phẳng Allman không chỉ làm tăng độ chính xác mà còn giải quyết hiện tượng suy biến của bài toán vỏ thoải.

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN TRON HÓA CS-DSG3

2.1 Công thức phần tử hữu hạn cho tám Mindlin-Reissner

Trong luận án, tác giả sử dụng phần tử hữu hạn tam giác tuyến tính ba nút có trường biến dạng được nội suy lại từ khoảng trượt do Bletzinger đề xuất, gọi là phần tử DSG3 [36]. Ngoài ra, để cải thiện tốc độ hội tụ và khắc phục hạn chế về ảnh hưởng của thứ tự nút trong phần tử của phần tử DSG3, tác giả đã áp dụng kỹ thuật tron hóa dựa trên ô, gọi là CS-FEM [11], vào phần tử này. Phần tử mới này, được gọi là phần tử CS-DSG3, sẽ được dùng để

xấp xỉ trường chuyển vị và biến dạng của phần tử hữu hạn tấm Mindlin-Reissner. Ngoài ra, để đảm bảo tính tương thích giữa tấm và dầm gia cường, tác giả đã sử dụng phần tử hữu hạn hai nút tuyến tính để xấp xỉ trường chuyển vị của các phần tử dầm.



Hình 2.1 Phần tử tam giác 3 nút và hệ tọa độ địa phương.

Các thành phần biến dạng của phần tử tấm DSG3 được cho bởi: 1) thành phần biến dạng uốn

$$\mathbf{B} = \frac{1}{2A_e} \begin{bmatrix} 0 & b-c & 0 & 0 & c & 0 & 0 & -b & 0 \\ 0 & 0 & d-a & 0 & 0 & -d & 0 & 0 & a \\ 0 & d-a & b-c & 0 & -d & c & 0 & a & -b \end{bmatrix} = \frac{1}{2A_e} [\mathbf{B}_1 \quad \mathbf{B}_2 \quad \mathbf{B}_3]; \quad (2.7)$$

với a, b, c và d được cho như trong Hình vẽ 2.1; 2) thành phần biến dạng cắt

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2A_e} \begin{bmatrix} b-c & A_e & 0 & c & ac/2 & bc/2 & -b & -bd/2 & -bc/2 \\ d-a & 0 & A_e & -d & -ad/2 & -bd/2 & a & ad/2 & ac/2 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{2A_e} [\mathbf{S}_1 \quad \mathbf{S}_2 \quad \mathbf{S}_3];$$

$$(2.28)$$

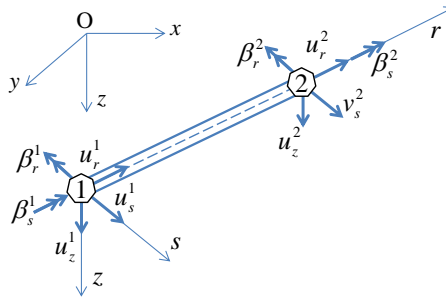
Đối với dầm gia cường, tác giả giả thiết dầm được gắn chặt trên kết cấu tấm/vỏ và được phân hoạch thành hữu hạn các phần tử 2 nút như Hình 2.2

với giả thiết các nút này nằm trùng lên nút của kết cấu gia cường. Trường chuyển vị của một phần tử thứ e trong hệ tọa độ tự nhiên được xấp xỉ bởi

$$\mathbf{u}_{S^e}^e = \sum_{i=1}^2 \phi_i \mathbf{L}_S \mathbf{d}_{S^e}^i ; \quad (2.22)$$

trong đó $\mathbf{d}_{S^e}^i = [u_r, u_s, u_z, \beta_r, \beta_s]^T$ là véc-tơ bậc tự do chuyển vị của nút thứ i của phần tử e và $\phi_i, i=1,2$, là hàm dạng tuyến tính trong hệ tọa độ tự nhiên cho bởi

$$\phi_1 = \frac{1}{2}(1 - \xi), \phi_2 = \frac{1}{2}(1 + \xi), \xi \in [-1, 1]. \quad (2.23)$$



Hình 2.2 Phần tử dầm Timoshenko 2 nút với mỗi nút có 5 bậc tự do.

Các ma trận phần tử của dầm như sau

$$\mathbf{K}_{S^e}^e = \int_{l_e} (\mathbf{L}_{S^e}^E \Phi)^T \bar{\mathbf{D}}_{S^e}^E \mathbf{L}_{S^e}^E \Phi dl ; \quad (2.24)$$

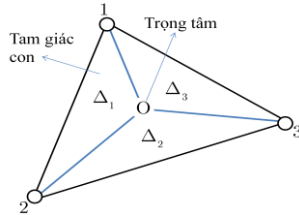
$$\mathbf{M}_{S^e}^e = \int_{l_e} \Phi^T \mathbf{A}^T \mathbf{m}_{S^e} \mathbf{A} \Phi dl ; \quad (2.25)$$

$$\mathbf{K}_{S^e}^{G^e} = \int_{l_e} (\mathbf{L}_{S^e}^G \Phi)^T \boldsymbol{\sigma}_{S^e}^0 \mathbf{L}_{S^e}^G \Phi dl . \quad (2.26)$$

Các thành phần của ma trận độ cứng trong các phương trình (2.24)-(2.26) sẽ được cộng vào ma trận độ cứng toàn cục ứng với các bậc tự do có liên kết với dầm. Thủ tục này giống với thủ tục thông thường để lắp ghép ma trận độ cứng phần tử vào ma trận độ cứng toàn cục trong phương pháp phần tử hữu hạn.

2.2 Công thức phần tử hữu hạn làm trơn trên ô

Để áp dụng kỹ thuật trơn hóa trên ô, CS-FEM; trước tiên, trong một phần tử tam giác ba nút, tác giả chia phần tử thành ba ô tương ứng với ba tam giác con (Δ_1 , Δ_2 và Δ_3) bằng cách kết nối ba nút với tâm của tam giác như Hình 2.4. Trên mỗi tam giác con, trường chuyển vị sẽ được xấp xỉ bằng phần tử tuyến tính thông thường, còn trường biến dạng sẽ được thay bằng trường biến dạng của phần tử DSG3. Sau đó, tác giả sẽ áp dụng kỹ thuật làm trơn trên toàn bộ phần tử tam giác được chia thành ba tam giác con.



Hình 2.4 Các tam giác con (Δ_1 , Δ_2 và Δ_3) trong phần tử CS-DSG3 tạo ra từ phần tử tam giác ban đầu bằng cách kết nối tâm O của tam giác với ba nút 1,2 và 3.

Trong phần tử tam giác, véc-tơ chuyển vị \mathbf{d}_{eO} tại tâm O là giá trị trung bình của ba véc-tơ chuyển vị \mathbf{d}_{e1} , \mathbf{d}_{e2} và \mathbf{d}_{e3} tại ba nút như sau

$$\mathbf{d}_{eO} = \frac{1}{3}(\mathbf{d}_{e1} + \mathbf{d}_{e2} + \mathbf{d}_{e3}). \quad (2.38)$$

Trên tam giác con Δ_1 , trường biến dạng uốn κ^{Δ_1} và cắt γ^{Δ_1} lần lượt là

$$\kappa^{\Delta_1} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{b}_1^{\Delta_1} & \mathbf{b}_2^{\Delta_1} & \mathbf{b}_3^{\Delta_1} \end{bmatrix}}_{\mathbf{b}^{\Delta_1}} \begin{bmatrix} \mathbf{d}_{eO} \\ \mathbf{d}_{e1} \\ \mathbf{d}_{e2} \end{bmatrix} = \mathbf{b}^{\Delta_1} \mathbf{d}^{\Delta_1}; \quad (2.40)$$

$$\gamma^{\Delta_1} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{s}_1^{\Delta_1} & \mathbf{s}_2^{\Delta_1} & \mathbf{s}_3^{\Delta_1} \end{bmatrix}}_{\mathbf{s}^{\Delta_1}} \begin{bmatrix} \mathbf{d}_{eO} \\ \mathbf{d}_{e1} \\ \mathbf{d}_{e2} \end{bmatrix} = \mathbf{s}^{\Delta_1} \mathbf{d}^{\Delta_1}; \quad (2.41)$$

trong đó \mathbf{b}^{Δ_1} và \mathbf{s}^{Δ_1} lần lượt được tính toán như các ma trận \mathbf{B} và \mathbf{S} của phần tử DSG3 như trong các phương trình (2.7) và (2.28).

Làm tương tự cho hai tam giác con Δ_2 và Δ_3 với thứ tự nút trong phần tử tam giác con lần lượt là 0-2-3 và 0-3-1, tác giả tìm được các trường biến dạng uốn $\boldsymbol{\kappa}^{\Delta_2}$, $\boldsymbol{\kappa}^{\Delta_3}$ và cắt $\boldsymbol{\gamma}^{\Delta_2}$, $\boldsymbol{\gamma}^{\Delta_3}$ cho hai tam giác con này.

Tiếp theo, trên từng phần tử thứ e tác giả áp dụng kỹ thuật làm trơn trường biến dạng dựa trên ô cho các biến dạng uốn hằng $\boldsymbol{\kappa}^{\Delta_1}$, $\boldsymbol{\kappa}^{\Delta_2}$, $\boldsymbol{\kappa}^{\Delta_3}$ và các biến dạng cắt hằng $\boldsymbol{\gamma}^{\Delta_1}$, $\boldsymbol{\gamma}^{\Delta_2}$, $\boldsymbol{\gamma}^{\Delta_3}$ để tạo ra các biến dạng uốn trơn hóa $\tilde{\boldsymbol{\kappa}}_e$ và các biến dạng cắt trơn hóa $\tilde{\boldsymbol{\gamma}}_e$ lần lượt như sau

$$\tilde{\boldsymbol{\kappa}}_e = \iint_{\Omega_e} \boldsymbol{\kappa}^h \Phi_e(\mathbf{x}) d\Omega = \sum_{j=1}^3 \boldsymbol{\kappa}^{\Delta_j} \iint_{\Delta_j} \Phi_e(\mathbf{x}) d\Omega; \quad (2.44)$$

$$\tilde{\boldsymbol{\gamma}}_e = \iint_{\Omega_e} \boldsymbol{\gamma}^h \Phi_e(\mathbf{x}) d\Omega = \sum_{j=1}^3 \boldsymbol{\gamma}^{\Delta_j} \iint_{\Delta_j} \Phi_e(\mathbf{x}) d\Omega; \quad (2.45)$$

trong đó $\boldsymbol{\kappa}^{\Delta_j}$ và $\boldsymbol{\gamma}^{\Delta_j}$ lần lượt là các trường biến dạng hằng trên tam giác con Δ_j và $\Phi_e(\mathbf{x})$ là hàm làm trơn theo phương trình (2.34). Thay hàm làm trơn $\Phi_e(\mathbf{x})$ trong phương trình (2.34) vào các phương trình (2.44) và (2.45), ta được các trường biến dạng trơn hóa trên ô của phần tử DSG3 gồm

$$\tilde{\boldsymbol{\kappa}}_e = \tilde{\mathbf{B}} \mathbf{d}_e; \quad (2.48)$$

$$\tilde{\boldsymbol{\gamma}}_e = \tilde{\mathbf{S}} \mathbf{d}_e; \quad (2.49)$$

trong đó $\tilde{\mathbf{B}}$ là ma trận gradient biến dạng uốn trơn hóa

$$\tilde{\mathbf{B}} = \frac{1}{A_e} \sum_{j=1}^3 A_{\Delta_j} \mathbf{B}^{\Delta_j}; \quad (2.50)$$

và $\tilde{\mathbf{S}}$ là ma trận gradient biến dạng cắt trơn hóa

$$\tilde{\mathbf{S}} = \frac{1}{A_e} \sum_{j=1}^3 A_{\Delta_j} \mathbf{S}^{\Delta_j}. \quad (2.51)$$

Từ các công thức của trường biến dạng, ma trận độ cứng phần tử tám được tìm dưới dạng công thức

$$\tilde{\mathbf{K}}_{p_e} = \mathbf{K}_{p_e}^m + \tilde{\mathbf{K}}_{p_e}^b; \quad (2.53)$$

với $\mathbf{K}_{p_e}^m$ là ma trận độ cứng ứng với chuyển vị màng được tính bởi

$$\mathbf{K}_{Pe}^m = \iint_{\Omega_e} \mathbf{B}_m^T \mathbf{D}^m \mathbf{B}_m d\Omega; \quad (2.54)$$

và \mathbf{K}_{Pe}^b là ma trận độ cứng ứng với chuyển vị uốn được tính bởi

$$\tilde{\mathbf{K}}_{Pe}^b = \iint_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{B}}^T \mathbf{D}^b \tilde{\mathbf{B}} d\Omega + \iint_{\Omega_e} \tilde{\mathbf{S}}^T \hat{\mathbf{D}}^s \tilde{\mathbf{S}} d\Omega = \tilde{\mathbf{B}}^T \mathbf{D}^b \tilde{\mathbf{B}} A_e + \tilde{\mathbf{S}}^T \hat{\mathbf{D}}^s \tilde{\mathbf{S}} A_e. \quad (2.55)$$

Đối với ma trận biến dạng hình học \mathbf{K}_{Pe}^G , tác giả vẫn sử dụng phần tử tuyến tính tam giác ba nút thông thường bởi vì kết quả tính toán số cho thấy việc áp dụng kỹ thuật tron hóa cho biến dạng hình học không làm thay đổi kết quả đáng kể.

2.3 Phần tử ứng suất phẳng Allman

Như đã trình bày ở mục 1.2.3, khi sử dụng lý thuyết vô thoả Mindlin-Reissner cho bài toán vỏ thì các phần tử hữu hạn thông thường sẽ gặp trường hợp suy biến ma trận độ cứng toàn cục làm cho các kết quả bài toán không còn chính xác nữa. Để khắc phục hiện tượng đó, tác giả sẽ sử dụng phần tử ứng suất phẳng Allman. Phần tử ứng suất phẳng Allman được dựa vào phần tử tam giác biến dạng tuyến tính, Linear Strain Triangular element (LST) [28].

Hàm dạng của phần tử ứng suất phẳng Allman được cho bởi

$$\left(\mathbf{N}_u^{All} \right)^T = \begin{bmatrix} 1 - \xi - \eta \\ 0 \\ (1 - \xi - \eta)(y_{13}\eta - y_{21}\xi) / 2 \\ \xi \\ 0 \\ (y_{21}\xi(1 - \xi - \eta) - y_{32}\xi\eta) / 2 \\ \eta \\ 0 \\ (y_{32}\xi\eta - y_{13}\eta(1 - \xi - \eta)) / 2 \end{bmatrix}; \quad (2.61)$$

$$(\mathbf{N}_v^{All})^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 - \xi - \eta \\ -(1 - \xi - \eta)(x_{13}\eta - x_{21}\xi) / 2 \\ 0 \\ \xi \\ -(x_{21}\xi(1 - \xi - \eta) - x_{32}\xi\eta) / 2 \\ 0 \\ \eta \\ -(x_{32}\xi\eta - x_{13}\eta(1 - \xi - \eta)) / 2 \end{bmatrix}; \quad (2.62)$$

trong đó $x_{ij} = x_i - x_j$ và $y_{ij} = y_i - y_j$. Ma trận độ cứng trở thành

$$\mathbf{K}_{Se}^{All} = \int_0^1 \int_0^{1-\xi} (\hat{\mathbf{B}}^m)^T \mathbf{D}^m \hat{\mathbf{B}}^m |\det J| d\eta d\xi; \quad (2.64)$$

trong đó $\hat{\mathbf{B}}^m$ là ma trận gradient của hàm dạng \mathbf{N}_u^{All} và \mathbf{N}_v^{All} . Để tính tích phân trong phương trình (2.64), tác giả sử dụng tích phân cầu phương Gauss. Trong luận án, đối với tấm gia cường, tác giả sử dụng phần tử màng tuyến tính thông thường theo phương trình (2.12) mà không cần sử dụng phần tử ứng suất phẳng Allman. Chỉ khi phân tích ứng xử của vỏ gia cường hoặc kết cấu tấm gập gia cường, tác giả mới sử dụng ma trận độ cứng phẳng Allman theo phương trình (2.64) để khắc phục hiện tượng thiếu hạng như đã đề cập.

CHƯƠNG 3 GIẢI THUẬT TỐI ƯU TIẾN HÓA DE HIỆU CHỈNH

Trong chương này, tác giả trình bày giải thuật tối ưu tiến hóa DE hiệu chỉnh kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn làm trơn CS-DSG3 trong chương 2 để giải bài toán tối ưu hóa hướng sợi của tấm gập composite nhiều lớp. Giải thuật DE [23] là một trong những giải thuật tối ưu dựa trên việc tìm kiếm nghiệm tối ưu toàn cục được sử dụng rộng rãi khi giải các bài toán tối ưu hóa trong kết cấu. Tuy nhiên, do DE dựa vào nguyên lý tìm

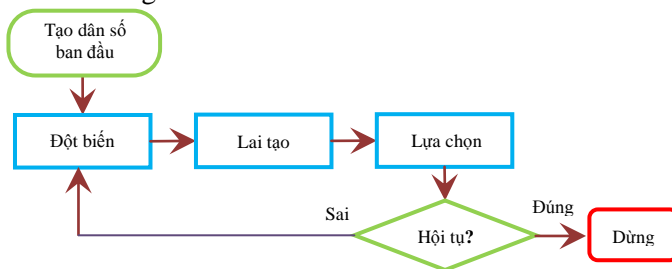
kiếm ngẫu nhiên trong toàn bộ miền tìm kiếm nên chi phí tính toán của phương pháp là khá lớn. Vì vậy, nhiều cải tiến đã được đề xuất nhằm giảm chi phí tính toán và để phù hợp hơn với từng loại bài toán khác nhau.

Trong bài toán tối ưu hóa hướng sợi của tấm ghép composite nhiều lớp, các hướng sợi của vật liệu composite sẽ được chọn là các giá trị nguyên thay vì là các giá trị thực nhằm phản ánh đúng giá trị số nguyên trong thiết kế và chế tạo thực tế hướng sợi của vật liệu composite. Đặc biệt, việc chọn biến giá trị nguyên này sẽ giúp làm giảm đáng kể chi phí tính toán trong quá trình giải bài toán tối ưu.

Bên cạnh đó, trong giải thuật tính toán tối ưu hóa, việc đánh giá các hàm mục tiêu theo các biến thiết kế thường được thực hiện bằng các phương pháp số. Vì vậy, việc chọn một phương pháp số có tốc độ hội tụ nhanh và chi phí tính toán thấp cũng sẽ giúp tiết kiệm chi phí tính toán trong quá trình tìm lời giải tối ưu.

Từ những yêu cầu trên, tác giả đã chọn phương pháp CS-DSG3 kết hợp với giải thuật tối ưu tiến hóa DE hiệu chỉnh để giải bài toán tối ưu hóa hướng sợi của tấm ghép composite.

Mô hình của DE do Storn và Price [23] đề xuất gồm có bốn pha chính được mô tả như trong Hình 3.1.



Hình 3.1 Sơ đồ tóm tắt 4 pha của giải thuật tối ưu DE.

Giải thuật DE ban đầu được thiết kế để giải các bài toán trong không gian tìm kiếm dành cho biến thiết kế liên tục. Tuy nhiên, để giải các bài toán tối ưu tấm ghép composite nhiều lớp, các biến thiết kế của bài toán (là

các góc hướng sợi của các lớp) là những giá trị nguyên nằm trong khoảng -90° đến 90° . Vì vậy, giải thuật DE thông thường cần được hiệu chỉnh để phù hợp với việc giải những bài toán tối ưu có biến thiết kế là số nguyên. Hơn nữa, để tăng tốc độ hội tụ của giải thuật DE thông thường, một chiến lược đột biến mới có tên “current-to-rand/best/1” sẽ được sử dụng trong pha đột biến. Trong phần này, tác giả sẽ trình bày hai điểm bổ sung đối với giải thuật DE thông thường để cho ra giải thuật DE được hiệu chỉnh (adjusted DE).

3.1 Tóm tắt giải thuật tối ưu tiên hóa DE

3.1.1 Pha ban đầu

Lúc đầu, dân số khởi tạo gồm NP cá thể được tạo ra bằng cách lấy ngẫu nhiên từ không gian tìm kiếm. Mỗi cá thể là một véc-tơ chứa n biến thiết kế $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ và được tạo ra như sau

$$x_{ij}(0) = x_j^l + \text{rand}(0,1)(x_j^u - x_j^l), \quad i = 1, \dots, NP; j = 1, \dots, n$$

trong đó x_j^l và x_j^u lần lượt là các ràng buộc cận dưới và trên của biến thiết kế thứ j .

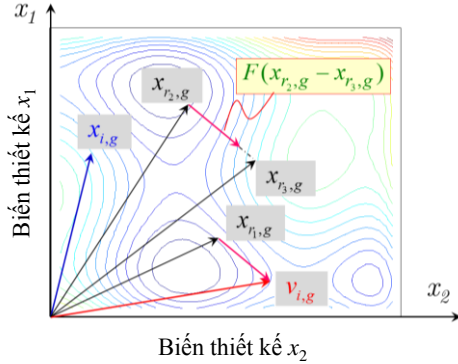
3.1.2 Pha đột biến

Sau bước khởi tạo dân số, là đến pha đột biến. Trong số NP cá thể, mỗi cá thể kế tiếp được gọi là véc-tơ mục tiêu được sử dụng để tạo ra véc-tơ đột biến bằng toán tử đột biến “rand/1”

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{x}_{r_1} + F(\mathbf{x}_{r_2} - \mathbf{x}_{r_3})$$

trong đó r_1, r_2, r_3 được lựa ngẫu nhiên từ $\{1, 2, \dots, NP\}$ và thỏa $r_1 \neq r_2 \neq r_3$; F là hệ số tỉ lệ được chọn ngẫu nhiên từ 0 đến 1. Hệ số này điều khiển độ lớn cộng vào \mathbf{x}_{r_1} của hiệu \mathbf{x}_{r_2} và \mathbf{x}_{r_3} ; \mathbf{v}_i là véc-tơ đột biến.

Cơ chế đột biến của DE cho trường hợp hai biến thiết kế x_1 và x_2 được mô tả trong Hình 3.2.



Hình 3.2 Cơ chế đột biến của giải thuật DE với toán tử đột biến rand/1.

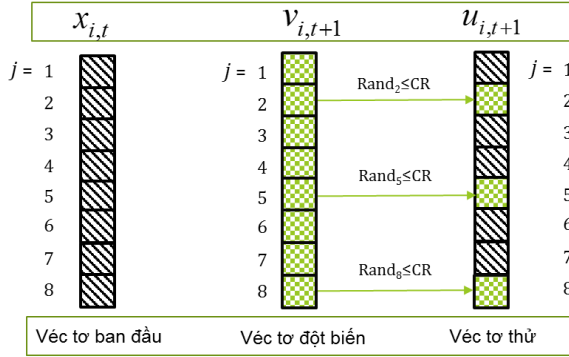
3.1.3 Pha lai tạo

Sau pha đột biến là pha lai tạo. Trong pha này một số phần tử của véc-tơ mục tiêu được thay bởi các phần tử của véc-tơ đột biến để tạo ra một véc-tơ thử u_i bằng cách sử dụng toán tử chéo nhị thức

$$u_{ij} = \begin{cases} v_{ij} & \text{rand}_j \leq CR \text{ or } j = j_{rand} \\ x_{ij} & \text{otherwise} \end{cases}$$

trong đó $i \in \{1, 2, \dots, NP\}$; $j \in \{1, 2, \dots, n\}$; $rand_j$ là số ngẫu nhiên phân phối đều giữa 0 và 1; j_{rand} là số nguyên được chọn từ 1 đến n ; CR là tham số điều khiển chéo; và u_{ij} là véc-tơ thử.

Quá trình lai tạo được mô tả cụ thể trong Hình 3.3. Trong một thế hệ thứ t , các véc-tơ mục tiêu $x_{i,t}$ sẽ được lai tạo với các véc-tơ đột biến $v_{i,t+1}$ thông qua tham số điều khiển chéo CR như sau: nếu số ngẫu nhiên $rand_j$ ứng với thành phần thứ j véc-tơ đột biến $v_{i,t+1}$ nhỏ hơn tham số CR thì thành phần này sẽ được chọn cho véc-tơ thử $u_{i,t}$ ngược lại thì thành phần thứ j của véc-tơ mục tiêu được chọn. Thế hệ tiếp theo sẽ kế thừa đặc tính của thế hệ trước và mang thêm những đặc tính của cá thể bị đột biến.



Hình 3.3 Cơ chế lai tạo ra véc-tơ thử \mathbf{u} .

3.1.4 Pha lựa chọn

Cuối cùng là pha lựa chọn, trong đó dựa vào giá trị của hàm mục tiêu, véc-tơ thử \mathbf{u}_i được so sánh với véc-tơ mục tiêu \mathbf{x}_i . Véc-tơ tốt hơn làm giá trị hàm mục tiêu bé hơn sẽ được chọn tồn tại trong thế hệ tiếp theo

$$\mathbf{x}_i = \begin{cases} \mathbf{u}_i & f(\mathbf{u}_i) \leq f(\mathbf{x}_i) \\ \mathbf{x}_i & otherwise \end{cases}$$

trong đó, $f(\mathbf{u}_i)$ là giá trị hàm mục tiêu.

3.2 Giải thuật DE được hiệu chỉnh

3.2.1 Chiến lược đột biến mới current-to-rand/best/1

Trong giải thuật aDE, quá trình tạo đột biến sẽ được thay bằng chiến lược “current-to-rand/best/1” trong pha đột biến để nâng cao hiệu quả của giải thuật. Chiến lược “current-to-rand/best/1” là sự kết hợp của chiến lược “current-to-rand/1” với chiến lược “current-to-best/1” trong quá trình tối ưu bao gồm

- Current-to-rand/1: $\mathbf{v}_i = \mathbf{x}_i + F(\mathbf{x}_{r_1} - \mathbf{x}_i) + F(\mathbf{x}_{r_2} - \mathbf{x}_{r_3})$;

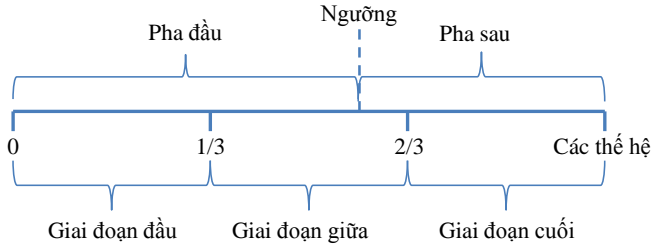
- Current-to-best/1: $\mathbf{v}_i = \mathbf{x}_i + F(\mathbf{x}_{best} - \mathbf{x}_i) + F(\mathbf{x}_{r_1} - \mathbf{x}_{r_2})$;

trong đó r_1, r_2, r_3 được lựa ngẫu nhiên từ $\{1, 2, \dots, NP\}$ và thỏa $r_1 \neq r_2 \neq r_3$; F là hệ số tỉ lệ được chọn ngẫu nhiên giữa 0 và 1; \mathbf{v}_i là véc-tơ đột biến;

\mathbf{x}_i là cá thể mục tiêu; \mathbf{x}_{best} là cá thể tốt nhất có giá trị hàm mục tiêu bé nhất trong dân số.

Trong quá trình kết hợp, số lượng thế hệ hiện tại (ký hiệu là `current_gen`) được so sánh với số thế hệ ngưỡng (`threshold_gen`) và được tính bằng cách nhân số thế hệ tổng (`total_gen`) với hệ số k . Nếu `current_gen > threshold_gen`, thì chiến lược “current-to-best/1” được sử dụng để tạo ra véc-tơ đột biến \mathbf{v}_i cho mỗi véc-tơ mục tiêu \mathbf{x}_i . Ngược lại, nếu `current_gen ≤ threshold_gen` thì chiến lược “current-to-rand/1” được sử dụng để tạo ra véc-tơ đột biến \mathbf{v}_i .

Cách thức kết hợp được miêu tả trong Hình 3.5, cho thấy toàn bộ quá trình tiến hóa được chia làm ba trạng thái (trạng thái đầu, trạng thái giữa và trạng thái sau). Động lực để tạo ra chiến lược “current-to-rand/1” nhằm đảm bảo pha đầu tiên (sử dụng chiến lược “current-to-rand/1”) có thể phủ trạng thái đầu và một số phần của trạng thái giữa, còn pha thứ hai (sử dụng chiến lược “current-to-best/1”) có thể phủ phần còn lại của trạng thái giữa và trạng thái sau của sự tiến hóa. Trong pha thứ nhất, các cá thể được tạo ra bằng chiến lược “current-to-rand/1” và học thông tin từ các cá thể khác được chọn ngẫu nhiên từ dân số, vì vậy sẽ giúp nâng cao khả năng tìm kiếm toàn cục. Ngược lại, pha thứ hai được thực hiện nhằm hướng dân số hội tụ nhanh đến nghiệm tối ưu toàn cục, bởi vì chiến lược “current-to-best/1” sử dụng thông tin của cá thể tốt nhất trong dân số hiện tại. Sự kết hợp được đề xuất sẽ giúp nâng cao hiệu quả của giải thuật DE thông thường theo hai khía cạnh: (1) khả năng tìm kiếm cục bộ tốt hơn và (2) tốc độ hội tụ nhanh hơn.



Hình 3.5 Lược đồ của chiến lược “current-to-rand/best/1”.

3.2.2 Kỹ thuật xử lý biến thiết kế là số nguyên

Trong giải thuật aDE, quá trình khởi tạo này sẽ được thay bằng quá trình khởi tạo biến nguyên như sau

$$x_{ij}(0) = x_j^l + \text{round}[\text{rand}(0,1)(x_j^u - x_j^l)], \quad i=1,\dots,NP; \quad j=1,\dots,n. \quad (3.3)$$

Đối với bài toán tối ưu tổ hợp composite nhiều lớp, ngoài đòi hỏi sự khác nhau, các biến thiết kế phải là biến nguyên. Trong giải thuật aDE, pha đột biến có sự điều chỉnh bằng cách kết hợp hai chiến thuật, “current-to-rand/1” và “current-to-best/1” (đã được hiệu chỉnh) để tạo ra véc-tơ đột biến có giá trị nguyên bằng cách:

- *Current-to-rand/1*:

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{x}_i + \text{round}[F \times (\mathbf{x}_{r_1} - \mathbf{x}_i)] + \text{round}[F \times (\mathbf{x}_{r_2} - \mathbf{x}_{r_3})] \quad (3.4)$$

- *Current-to-best/1*:

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{x}_i + \text{round}[F \times (\mathbf{x}_{\text{best}} - \mathbf{x}_i)] + \text{round}[F \times (\mathbf{x}_{r_1} - \mathbf{x}_{r_2})] \quad (3.5)$$

Trong phương trình (3.4) và (3.5), do r_1, r_2, r_3 được chọn sao cho $r_1 \neq r_2 \neq r_3$ và tất cả các biến thiết kế là biến nguyên nên giá trị của $(\mathbf{x}_{r_2} - \mathbf{x}_{r_3})$, $(\mathbf{x}_{r_1} - \mathbf{x}_i)$, $(\mathbf{x}_{\text{best}} - \mathbf{x}_i)$ hay $(\mathbf{x}_{r_1} - \mathbf{x}_{r_2})$ có các thành phần là số nguyên lớn hơn hoặc bằng 1. Hệ số tỉ lệ F trong luận án được chọn lớn hơn hoặc bằng 0.8 nên véc-tơ mục tiêu sẽ được cộng vào một lượng có giá trị lớn hơn hoặc bằng 1. Bởi vì chiến thuật “current-to-rand/best/1” là sự kết hợp giữa hai chiến thuật đột biến nên véc-tơ đột biến sẽ khác xa các véc-tơ mục tiêu và có giá trị nguyên sau pha đột biến.

Phương pháp được sử dụng trong luận án không chỉ làm thay đổi các biến thiết kế thành giá trị nguyên để phù hợp với bài toán tối ưu với biến thiết kế nguyên mà còn đảm bảo việc mở rộng miền tìm kiếm.

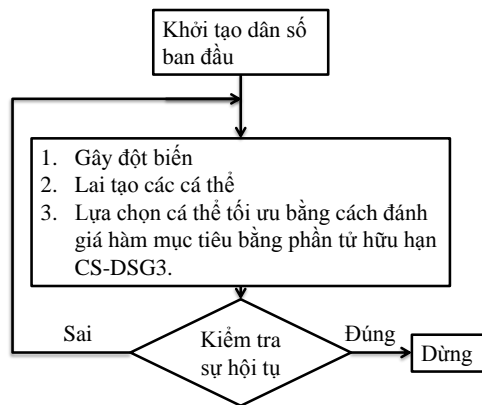
3.2.3 Lưu đồ giải bài toán tối ưu hóa

Lưu đồ để giải bài toán tối ưu hóa kết hợp phương pháp tối ưu hóa aDE và phương pháp phân tử hữu hạn được thể hiện trong Hình 3.6.

Bước 1: Thực hiện pha ban đầu, khởi tạo dân số bao gồm các cá thể được tạo ngẫu nhiên chứa giá trị ngẫu nhiên của các biến thiết kế.

Bước 2: Thực hiện tuần tự các pha đột biến, lai tạo và lựa chọn của giải thuật tối ưu hóa DE. Đồng thời trong pha lựa chọn, phương pháp phân tử hữu hạn, cụ thể là phân tử CS-DSG3, sẽ được sử dụng để phân tích ứng xử kết cấu ứng với từng cá thể chứa các biến thiết kế, để từ đó đánh giá giá trị hàm mục tiêu ứng với từng cá thể đó.

Bước 3: Kiểm tra sự hội tụ của nghiệm tối ưu. Nếu nghiệm hội tụ với sai số cho trước thì giải thuật sẽ dừng, ngược lại quá trình tối ưu sẽ quay trở lại bước 2.



Hình 3.6 Lưu đồ tối ưu hóa bằng giải thuật aDE và phân tử CS-DSG3.

CHƯƠNG 4 CÁC KẾT QUẢ SỐ

Trong phần kết quả số, tác giả thực hiện các tính toán số dựa trên việc lập trình trên phần mềm Matlab phần tử CS-DSG3 và giải thuật tối ưu hóa aDE. Các kết quả tính toán số đã được công bố trên các tạp chí quốc tế uy tín thuộc danh mục ISI (4 bài), tạp chí uy tín quốc gia (1 bài) và đăng trên kỷ yếu hội nghị quốc gia (2 bài).

Đối với phân tích ứng xử của kết cấu, tác giả đã thực hiện phân tích bằng phần tử CS-DSG3 cho các bài toán sau:

4.1. Phân tích ứng xử của kết cấu tấm và vỏ gia cường gân

4.1.1. Phân tích tĩnh học, dao động tự do và ổn định chịu tải trọng trong mặt phẳng tấm cho kết cấu tấm gia cường đồng tâm và lệch tâm.

4.1.1.1 Phân tích tĩnh học tấm vuông gia cường một dầm

4.1.1.2 Phân tích dao động tự do của tấm hình vuông gia cường bởi một gân tại tâm.

4.1.1.3 Phân tích dao động tự do của tấm vuông gia cường hai dầm

4.1.1.4 Phân tích ổn định tải trọng ngang của tấm vuông gia cường

4.1.2. Phân tích tĩnh học và dao động tự do của vỏ gia cường

4.1.2.1 Phân tích tĩnh học vỏ trụ công-xôn gia cường bằng các dầm đồng tâm và lệch tâm

4.1.2.2 Phân tích dao động tự do của vỏ trụ gia cường các dầm trục giao

4.2. Phân tích ứng xử của kết cấu tấm gấp gia cường gân

4.2.1 Phân tích tĩnh học tấm gấp hai khối gia cường

4.2.2 Phân tích dao động tự do của tấm gấp hai khối gia cường

4.2.3 Phân tích tĩnh học và dao động tự do của tấm gấp ba khối hình vuông gia cường

4.3 Phân tích ứng xử của tấm gấp composite nhiều lớp bằng phần tử CS-DSG3

4.3.1 Phân tích tĩnh học của tấm gấp composite nhiều lớp bằng phần tử CS-DSG3

4.3.2 Phân tích dao động tự do tấm gập composite nhiều lớp hai khối và ba khối bằng phần tử CS-DSG3

Các kết quả số cho thấy sự tin cậy và tính hiệu quả của phần tử CS-DSG3 cho lớp các bài toán tấm/vỏ gia cường khi so sánh với các kết quả thực nghiệm, lời giải giải tích hay từ các phần mềm thương mại cũng như các kết quả khảo cứu trước đó. Từ đó, tác giả đã kết hợp phần tử này với giải thuật tối ưu hóa aDE. Các kết quả của nghiên cứu này được thực hiện dựa trên tính toán tối ưu hóa hướng sợi của tấm gập composite nhiều lớp.

4.4. Tối ưu hóa tấm gập composite nhiều lớp

Tính toán tối ưu hóa tấm gập nhiều lớp với hai hướng tiếp cận, cực tiểu hóa hàm năng lượng và cực đại hóa tần số dao động tự do. Các kết quả cho thấy giải thuật tối ưu aDE có chi phí tính toán theo số lần đánh giá hàm mục tiêu thấp hơn so với những phương pháp tối ưu khác như GA và PSO. Hơn nữa, khi kết hợp aDE với phần tử CS-DSG3, có tốc độ hội tụ nhanh ngay cả với lưới thô dù chỉ là phần tử tuyến tính ba nút, đã giúp tiết kiệm hơn nữa chi phí tính toán trong mỗi lần đánh giá hàm mục tiêu nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy của nghiệm tối ưu tìm được.

4.4.1 Bài toán tối ưu cực tiểu hóa năng lượng biến dạng

Bảng 4.19 Kết quả tối ưu hóa hướng sợi của tấm gập hai khối tám lớp đối xứng với góc lệch $\beta = 90^\circ$ qua năm lần chạy với các điều kiện biên khác nhau

Điều kiện biên	Phương pháp	Góc hướng sợi ($^\circ$)	$U_{\text{cực tiểu}}$ (10^{-3} Nm)	Số lần đánh giá hàm f
1 F-C-F-C	PSO	[-23/ -23/ -22/ -17] _S	5.285	1100
	GA	[-23/ -23/ -22/ -18] _S	5.285	1100
	aDE	[-23/ -23/ -21/ -17]_S	5.285	800
2 F-S-F-C	PSO	[-26/ -24/ -22/ -7] _S	7.770	1060
	GA	[-25/ -24/ -27/ -8] _S	7.770	1120

4.4.2 Bài toán cực đại tần số dao động tự do

Bảng 4.22 So sánh góc hướng sợi tối ưu và giá trị tần số dao động tự do không thứ nguyên của tấm composite tám lớp đối xứng với góc lệch $\beta = 150^\circ$.

	Điều kiện biên	Phương pháp	Góc hướng sợi ($^\circ$)	$\bar{\omega}$ Tối ưu	Số lần đánh giá hàm f
1	F-F-F-C	PSO	[-23/ -18/ -15/ -9] _S	0.0577	1100
		GA	[-22/ -20/ -13/ -9] _S	0.0577	1080
		aDE	[-22/ -19/ -14/ -9]_S	0.0577	960
2	F-C-F-F	PSO	[-23/ -22/ -22/ -20] _S	0.0583	1320
		GA	[-22/ -23/ -22/ -22] _S	0.0583	1100
		aDE	[-23/ -23/ -22/ -21]_S	0.0583	900
3	F-S-F-C	PSO	[-27/ -27/ -36/ -5] _S	0.1675	1150
		GA	[-27/ -28/ -33/ -3] _S	0.1675	1140
		aDE	[-28/ -28/ -18/ -61]_S	0.1676	860

CHƯƠNG 5 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1 Kết luận

Luận án được thực hiện nhằm 2 mục tiêu chính:

(1) Phát triển một phương pháp phần tử hữu hạn tron cải tiến (CS-DSG3) sử dụng các phần tử tam giác 3 nút để tính toán ứng xử của tấm/vỏ được gia cường;

(2) Phát triển một giải thuật tối ưu tiên hóa được hiệu chỉnh mới (aDE) và kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn tron CS-DSG3 ở mục tiêu 1 để tính toán tối ưu kết cấu tấm/vỏ gia cường dựa trên các điều kiện phân tích tĩnh học và dao động tự do.

Để thực hiện 2 mục tiêu trên, tác giả bước đầu đã thực hiện việc tổng quan tài liệu các nghiên cứu liên quan trong và ngoài nước về các phương pháp giải tích và phương pháp số nhằm phân tích ứng xử bài toán tấm/vỏ được gia cường gân. Thông qua đó, tác giả đã nắm bắt được các ưu điểm, nhược điểm của từng phương pháp và cũng xác định được khe hẹp nghiên cứu phù hợp. Tác giả sau đó đã trình bày trong Chương 1 và Chương 2 cơ

sở lý thuyết để xây dựng dạng yếu và các công thức tính toán cụ thể của phương pháp phần tử hữu hạn tổng quát và phương pháp phần tử hữu hạn tron CS-DSG3 nhằm phân tích ứng xử bài toán tấm/vỏ được gia cường gân. Trong Chương 3, tác giả đã trình bày ngắn gọn giải thuật tối ưu hóa tiến hóa DE và phiên bản hiệu chỉnh của nó aDE. Trong Chương 4 phần 1, 2 và 3, tác giả đã trình bày 12 ví dụ số nhằm minh họa về độ chính xác, hiệu quả và sự ổn định của phương pháp phần tử hữu hạn tron CS-DSG3 trong phân tích ứng xử tĩnh học, dao động tự do và phân tích ổn định của các loại tấm/vỏ gia cường gân, tấm gập vật liệu đẳng hướng và tấm gập vật liệu composite. Ngoài ra, trong phần 4 Chương 4, tác giả cũng đã trình bày 2 ví dụ số nhằm minh họa tính hiệu quả và ổn định của giải thuật tối ưu tiến hóa hiệu chỉnh aDE trong việc giải các bài toán tối ưu tấm gập composite nhiều lớp chịu các ràng buộc tĩnh học và động học. Dựa trên các nội dung đã thực hiện và kết quả số, luận án đã đạt được những kết quả mới như sau:

+ **Đối với mục tiêu thứ nhất:** luận án đã phát triển thành công phần tử hữu hạn tron CS-DSG3 sử dụng các phần tử tam giác 3 nút cho phân tích các ứng xử tĩnh học, dao động tự do và ổn định của các kết cấu tấm/vỏ gia cường, tấm gập gia cường và tấm gập composite nhiều lớp. Quá trình thiết lập dạng yếu rời rạc được thực hiện bằng phương pháp cực tiểu năng lượng, và phần tử tấm CS-DSG3 gốc được kết hợp với phần tử dầm tuyến tính Timoshenko thông qua điều kiện tương thích chuyển vị tại vị trí liên kết giữa tấm và dầm nhằm phân tích ứng xử của tấm/vỏ gia cường gân. Trong đó, mô hình tấm/vỏ có kể đến các ảnh hưởng do bề dày của tấm/vỏ và gân gia cường gây ra cho kết cấu, mà hiếm khi được đề cập trong các công trình trước đó. Ngoài ra, đối với bài toán vỏ gia cường hoặc kết cấu tấm gập gia cường, luận án đề xuất sử dụng thêm phần tử ứng suất phẳng Allman để khắc phục hiện tượng thiếu hạng hay suy biến ma trận độ cứng toàn cục. Quá trình thiết lập hệ phương trình ứng xử tuyến tính và phân tích các kết quả số cho thấy phần tử CS-DSG3 có các ưu điểm nổi bật sau: (1) linh hoạt và dễ dàng trong việc chia lưới phần tử tam giác 3 nút cho miền hình học có hình dạng phức tạp bất kỳ; (2) dễ dàng áp dụng trong tính toán các ma trận phần tử do chỉ sử dụng các xấp xỉ tuyến tính đơn giản và các toán tử

làm tròn dựa trên phần tử chứ không dựa trên nút hay cạnh; (3) có độ chính xác tốt, ổn định và hiệu quả so với các phần tử khác được so sánh trong đó có cả các phần tử bậc cao.

+ **Đối với mục tiêu thứ hai:** luận án đã phát triển thành công giải thuật tối ưu tiến hóa có hiệu chỉnh aDE và kết hợp hiệu quả với phần tử CS-DSG3 để tính toán tối ưu hướng sợi của kết cấu tấm gập composite nhiều lớp. Cụ thể, giải thuật aDE có hai hiệu chỉnh so với giải thuật DE thông thường gồm: (1) đã tích hợp một chiến lược đột biến mới có tên “current-to-rand/best/1” ở pha thứ 2 sau khi chiến lược đột biến “current-to-rand/1” được thực hiện ở pha thứ 1 nhằm tăng tốc độ hội tụ của giải thuật; (2) đã tích hợp một kỹ thuật làm tròn mới trong pha khởi tạo và pha đột biến nhằm xử lý hiệu quả các biến thiết kế có giá trị nguyên và cũng nhằm đảm bảo tốc độ hội tụ nhanh khi tính toán tối ưu hướng sợi của tấm gập composite nhiều lớp. Kết quả số của hầu hết các bài toán tối ưu hóa cho thấy giải thuật tối ưu hóa aDE có số lần đánh giá hàm mục tiêu ít hơn hẳn so với các giải thuật tối ưu hóa GA và PSO. Vì vậy, nếu xem xét tiêu chí đánh giá hiệu quả tính toán dựa trên số lần đánh giá hàm mục tiêu thì giải thuật aDE trong đa số trường hợp là tốt hơn các giải thuật GA và PSO.

5.2 Kiến nghị về những nghiên cứu tiếp theo

Ngoài những kết quả đã được nêu ở trên, luận án vẫn còn một số hạn chế nên tác giả kiến nghị những nghiên cứu tiếp theo liên quan đến đề tài là:

- Phân tích các ứng xử phức tạp của tấm/vỏ gia cường như: tấm/vỏ chịu tải trọng biến thiên theo thời gian hoặc tải trọng gây ra do nhiệt; ứng xử phi đàn hồi; các dạng hình học của kết cấu phức tạp và gắn với những kết cấu trong thực tế như các mô cầu, thân, vỏ máy bay, tàu thủy...

- Phân tích những ảnh hưởng của bề dày tấm/vỏ và gân gia cường, đặc biệt khi tấm và gân có bề dày lớn.

- Áp dụng các giải thuật tối ưu cho bài toán tối ưu hóa của kết cấu tấm/vỏ gia cường, như tối ưu sự phân bố gân gia cường trong kết cấu; tối ưu hình dạng, kích thước của gân gia cường.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

Dăng toàn văn Tuyển tập Hội nghị khoa học

1. **Bui Xuan Thang**, Phung Van Phuc, Nguyen Thoi Trung, Ngo Thanh Phong, Nguyen Xuan Hung. *An analysis of eccentrically stiffened plates by CS-MIN3 using triangular elements*. Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ IX Hà Nội, 8-9/12/2012, trang 960-968. ISBN 978-604-911-432-8.

2. **Bui Xuan Thang**, Luong Van Hai, Ngo Thanh Phong, Nguyen Thoi Trung. *Static analysis of stiffened flat shells using the cell-based smoothed triangular element CS-MIN3*. Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XI, Thành phố Hồ Chí Minh, 7-9/11/2013, trang 1093 – 1100. ISBN 978-604-913-212-4.

Bài báo khoa học

3. Nguyen Thoi Trung, **Bui Xuan Thang**, Ho Huu Vinh et al. (2013). An effective algorithm for reliability-based optimization of stiffened Mindlin plate. *Vietnam Journal of Mechanics*, **35(4)**, 335–346.

4. Nguyen-Thoi T., **Bui-Xuan T.**, Phung-Van P. et al. (2013). Static, free vibration and buckling analyses of stiffened plates by CS-DSG3 using triangular elements. *Computers & Structures*, **125**, 100–113. (**Tạp chí SCI, IF = 2.887**)

5. Le-Anh L., Nguyen-Thoi T., Ho-Huu V., Dang-Trung H., **Bui-Xuan T.** (2015). Static and frequency optimization of folded laminated composite plates using an adjusted Differential Evolution algorithm and a smoothed triangular plate element. *Composite Structures*, **127**, 382–394. (**Tạp chí SCIE, IF = 4.101**)

6. Nguyen-Minh N., Nguyen-Thoi T., **Bui-Xuan T.** et al. (2015). Static and free vibration analyses of stiffened folded plates using a cell-based smoothed discrete shear gap method (CS-DSG3). *Applied Mathematics and Computation*, **266**, 212–234. (**Tạp chí SCIE, IF = 2.3**)

7. Nguyen-Thoi T., **Bui-Xuan T.**, Liu G.R. et al. (2017). Static and Free Vibration Analysis of Stiffened Flat Shells by a Cell-Based Smoothed Discrete Shear Gap Method (CS-DSG3) Using Three-Node Triangular Elements. *International Journal of Computational Methods*, **15(06)**, 1850056. (**Tạp chí SCIE, IF = 0.805**)