

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CẤU TRÚC ĐẾN TÍNH HẤP THỤ NĂNG LƯỢNG CỦA CẤU TRÚC MẠNG VI PHẦN TỬ DẠNG HÌNH THÁP

Phạm Trung Hải, Xu Ping, Yu Yinghua, Shen Jiaying
Trường Đại học Kỹ thuật Liêu Ninh, Trung Quốc
Email: trunghai112@gmail.com

TÓM TẮT

Bộ hấp thụ năng lượng (HTNL) sử dụng cấu trúc mạng vi phần tử được thiết kế sử dụng cho giàn chống thủy lực nhằm tăng khả năng HTNL và nâng cao độ an toàn cho dàn chống. Bài báo sử dụng phương pháp phân tích dựa trên cơ sở lý thuyết sức bền vật liệu, kết hợp với phương pháp mô phỏng số để khảo sát ảnh hưởng của các thông số cấu trúc của vi phần tử hình tháp đến tính năng hấp thụ năng lượng của bộ HTNL. Các phân tích cho thấy tăng kích thước đường kính chân của vi phần tử hình tháp có thể làm tăng khả năng chịu lực cũng như khả năng hấp thụ năng lượng của bộ HTNL, ngược lại tăng bề rộng đáy và chiều cao vi phần tử hình tháp có thể làm giảm khả năng hấp thụ năng lượng của bộ HTNL.

Từ khóa: bộ hấp thụ năng lượng, cấu trúc mạng vi phần tử, vi phần tử hình tháp, giàn chống thủy lực

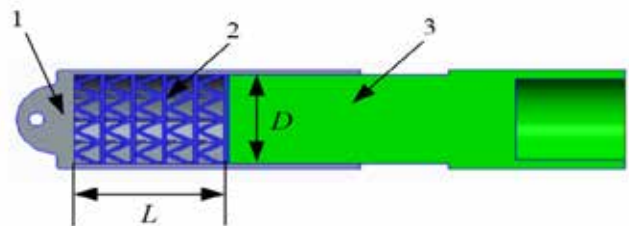
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, với các đặc tính như: nhẹ, chịu va đập và hấp thụ năng lượng (HTNL) tốt, tản nhiệt cách nhiệt tốt, tiêu âm cách âm, khả năng tùy biến theo yêu cầu... cấu trúc mạng đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực. Ở các nghiên cứu đã công bố trước, nhóm nghiên cứu đã sử dụng cấu trúc mạng để thiết kế phần tử HTNL sử dụng cho giàn chống thủy lực nhằm tăng cao khả năng HTNL và nâng cao độ an toàn cho giàn chống [1]. Nghiên cứu đã chỉ ra: mạng có cấu trúc vi phần tử dạng hình tháp là phù hợp nhất dùng để thiết kế phần tử HTNL. Bài nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích mô phỏng mô hình số dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn, tiến hành nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số cấu trúc vật liệu mạng đối với tính năng hấp thụ năng lượng của phần tử HTNL.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Cấu tạo của bộ hấp thụ năng lượng sử dụng mạng vi phần tử hình tháp

Bộ HTNL bao gồm rất nhiều cấu trúc vi phần tử xếp với nhau theo một trật tự nhất định. Các vi phần tử hình tháp này được sắp xếp thành nhiều lớp, mỗi lớp có số lượng vi phần tử bằng nhau (Hình



H.1. Bộ HTNL sử dụng mạng vi kết cấu

1-Đế; 2-Lõi HTNL; 3-Chân cột chống thủy lực

H.1). Các phần tử giống nhau nên các thông số về khối lượng, độ cứng... là như nhau. Khi bộ HTNL bị nén dọc trục, lực sẽ được phân bố đều cho tất cả các vi phần tử. Mỗi vi phần tử có thể chịu các lực khác nhau và quá trình biến dạng cũng khác nhau, nhưng tổng năng lượng hấp thụ tối đa của mỗi vi phần tử là như nhau, và tổng năng lượng hấp thụ của toàn bộ cấu trúc sẽ là tổng năng lượng hấp thụ của tất cả các vi phần tử. Do đó, tổng năng lượng hấp thụ được của bộ HTNL sẽ phụ thuộc vào năng lượng được hấp thụ bởi mỗi vi phần tử và tổng số vi phần tử có trong tổ hợp.

Vì chiều cao và đường kính của bộ HTNL là cố định nên khi các thông số cấu trúc vi phần tử hình tháp khác nhau, số lượng vi phần tử được lắp

đặt trong không gian cố định của bộ hấp thụ năng lượng sẽ khác nhau. Các thông số khiến vi phần tử đạt khả năng hấp thụ tốt nhất chưa chắc đã khiến bộ HTNL bố trí được số lượng vi phần tử nhiều nhất. Vì thế cần xem xét ảnh hưởng của các thông số cấu tạo đến tổng thể bộ HTNL.

Giả sử bộ HTNL có tổng chiều dài là L, đường kính là D, do các vi phần tử có chiều cao h, bề rộng đáy l=2a, đường kính chân d cấu tạo thành. Các vi phần tử này được sắp xếp thành nhiều lớp, mỗi lớp gồm nhiều vi phần tử. Số lớp lớn nhất có thể xếp là”

$$u \leq \frac{L}{h} \tag{1}$$

Mỗi tầng có số vi phần tử là:

$$v < \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{2a}\right)^2 \tag{2}$$

Giả sử rằng các vi phần tử có cấu tạo đồng nhất, lực phân bố lên thân mỗi phần tử là như nhau và độ biến dạng của thân tế bào là như nhau, thì tổng phản lực của bộ HTNL bằng tổng phản lực của toàn bộ vi phần tử được sắp xếp trong một lớp:

$$F_{total} = v.F \tag{3}$$

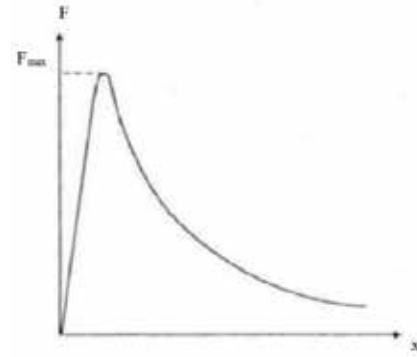
Tổng năng lượng có thể hấp thụ bằng tổng năng lượng hấp thụ của toàn bộ các vi phần tử:

$$Q_{total} = u.v.Q \tag{4}$$

2.2. Quá trình biến dạng của vi phần tử hình tháp

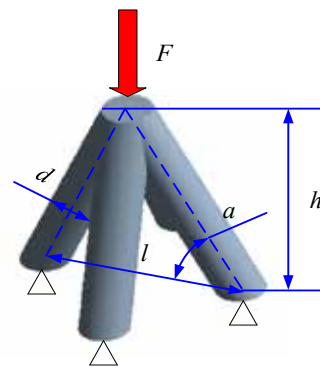
Bộ HTNL thường được lắp đặt ở chân của cột chống thủy lực. Ở điều kiện làm việc bình thường, bộ HTNL cần phải chịu được lực chống làm việc của cột chống. Khi xảy ra nổ đá, áp lực lên cột chống tăng đột ngột vượt quá giá trị lực chống tới hạn của bộ HTNL, lúc này bộ HTNL bắt đầu phát huy tác dụng, biến dạng và hấp thụ bớt một phần năng lượng từ vụ nổ, giảm bớt áp lực lên cột chống, giúp bảo vệ an toàn cho các kết cấu khác của cột và giàn chống.

Với đặc điểm làm việc như trên, bộ HTNL cần đường đặc tính chịu lực tương tự như Hình H.2.



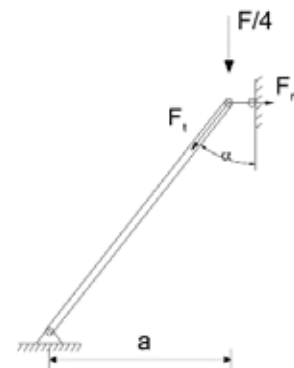
H.2. Kết cấu vi phần tử hình tháp và lực tác động khi bị nén

Trong bài nghiên cứu đã công bố [1], mô phỏng nén 1 vi phần tử hình tháp cũng cho thấy đường đặc tính chịu lực của vi phần tử hình tháp là phù hợp để làm bộ HTNL. Để lý giải cho vấn đề này, tiến hành khảo sát một vi phần tử hình tháp chịu lực như Hình H.3.



H.3. Kết cấu vi phần tử hình tháp và lực tác động khi bị nén

Giả thiết mô hình lực tác dụng lên một chân như H.4.



H.4. Phân bố lực trên chân của vi phần tử hình tháp

Thành phần lực F_t được tính theo công thức:

$$F_t = \frac{F}{4 \cdot \cos \alpha}, N \tag{5}$$

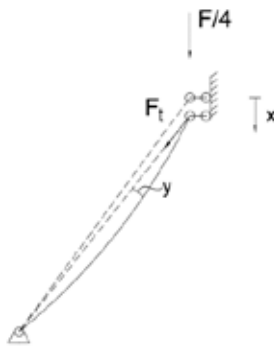
Như vậy xét riêng mỗi chân, lực tác dụng chỉ còn lại thành phần lực dọc trục. Biến dạng ban đầu của thanh là biến dạng nén dọc trục. Khi thanh vẫn trong giới hạn đàn hồi, lực F_t có thể được tính dựa vào định luật Hook như sau:

$$F_t = \frac{\Delta L}{L} \cdot EA, \text{ N} \quad (6)$$

Trong đó:

- E - Mô đun đàn hồi vật liệu, MPa
- A - Tiết diện của thanh, mm²
- ΔL - độ biến dạng của thanh, mm
- L - Chiều dài ban đầu của thanh.

Khi tiếp tục tăng giá trị của lực F, theo nghiên cứu của Leonhard Euler năm 1774 [2], khi lực dọc trục tăng đến một giá trị nhất định, thanh bị nén dọc trục sẽ tiến vào trạng thái mất ổn định và bị uốn cong như Hình H.5.



Hình 5. Biến dạng của thanh chịu nén dọc trục

Để tìm giá trị lực tới hạn này, giả thiết với một biến dạng y vô cùng bé, ta xây dựng được phương trình đặc trưng như sau:

$$y'' = -\frac{F_{t\max}}{EI} \cdot y \quad (7)$$

Giải phương trình vi phân trên thu được công thức tính giá trị lực tới hạn:

$$F_{t\max} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}, \text{ N} \quad (8)$$

Trong đó: I - mô men quán tính tiết diện thanh, m⁴. Lúc này ứng suất của thanh là:

$$\sigma = \frac{F_{t\max}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2}, \text{ Mpa} \quad (9)$$

Người ta đặt gọi là độ mảnh của thanh. - Hệ số phụ thuộc vào liên kết đầu thanh.

Với r_{\min} là bán kính quán tính tiết diện thanh.
 $r_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$ Với thanh có tiết diện tròn, $r_{\min} = \frac{d}{4}$

Giá trị $\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_s}}$ được gọi là độ mảnh giới hạn của thanh với σ_s là giới hạn chảy của vật liệu.

Đối với vật liệu thép, giá trị λ_0 nằm vào khoảng 90-100. Nếu $\lambda < \lambda_0$ thì khi thanh bắt đầu tiến vào trạng thái mất ổn định, ứng suất trong thanh đã vượt quá giới hạn chảy, thanh sẽ ngay lập tức xuất hiện biến dạng chảy. Trong phạm vi bài nghiên cứu, kích thước phân tử hình tháp có độ cao (30÷80)mm, độ rộng chân (20÷40)mm, đường kính chân (4÷7)mm. Trong phạm vi thông số kích thước này, độ mảnh của thanh chân $\lambda < \lambda_0$. Do đó có thể kết luận, ngay khi mất ổn định và bị uốn, thanh sẽ bị biến dạng dẻo ngay lập tức. Khi tiến vào trạng thái bị biến dạng dẻo, phản lực sẽ giảm nhanh, tuy nhiên biến dạng dẻo không xảy ra trên toàn bộ chiều dài thanh mà chỉ xảy ra tại một phải điểm có ứng suất tập trung lớn nhất.

Như vậy toàn bộ quá trình biến dạng của vi phân tử hình tháp có thể mô tả tóm tắt qua 2 giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1: Tương ứng với khi bộ HTNL làm việc ở điều kiện bình thường. Áp lực lên bộ HTNL nhỏ hơn áp lực tới hạn, bộ HTNL bị biến dạng nhỏ. Biến dạng lúc này chủ yếu là biến dạng nén dọc trục của các chân vi phân tử hình tháp;

Giai đoạn 2: Tương ứng với khi xảy ra nổ đá. Áp lực lên bộ HTNL tăng đột ngột và vượt quá giá trị giới hạn. Các chân vi phân tử bị mất ổn định và bị biến dạng uốn cong, nội lực trong vi phân tử giảm.

$$F_{t\max} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}, \text{ N} \quad (10)$$

Giai đoạn 2 là giai đoạn hấp thụ năng lượng chính của bộ HTNL. Trong giai đoạn này, hàm số biểu thị phản lực của vi phân tử tương ứng với độ biến dạng là:

$$F = m \cdot x'' + b \cdot x' + c \cdot x, \text{ N} \quad (11)$$

Trong đó:

- m - ma trận khối lượng của vi phần tử, Mpa
- b - ma trận độ cản của vi phần tử
- c- ma trận độ cứng của vi phần tử
- x - ma trận chuyển vị của vi phần tử (độ biến dạng)

Năng lượng vi phần tử hấp thụ được chính bằng công của ngoại lực gây ra biến dạng. Được tính theo công thức:

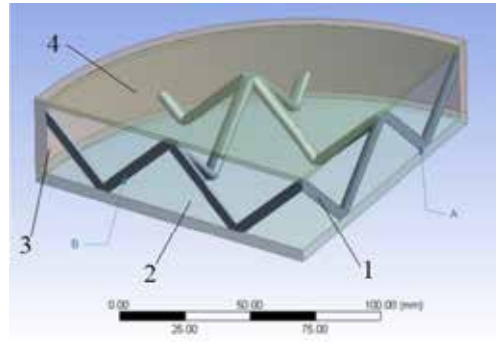
$$Q = \int_0^{x_{max}} F \cdot dx \quad (13)$$

Trên thực tế, để xác định các hàm số này là rất khó khăn. Ngay nay nhờ vào các phần mềm mô phỏng và máy tính, người ta có thể tiến hành mô phỏng quá trình biến dạng của vật thể cho ra những kết quả tương đối chính xác. Bài báo sử dụng modul mô phỏng va chạm Explicit Dynamic của phần mềm ANSYS Workbench để tiến hành mô phỏng và khảo sát ảnh hưởng của các tham số tới tính năng chịu lực và hấp thụ năng lượng của bộ HTNL.

2.3. Mô phỏng số bằng phần mềm Ansys

Nhóm nghiên cứu sử dụng modul Eplixit trong phần mềm ANSYS Workbech để mô phỏng bài toán nén bộ HTNL. Theo đó, mô hình 3D của vật thể sẽ được chia lưới nhỏ, cài đặt các điều kiện đầu vào và tự động tính toán dự trên phương pháp phần tử hữu hạn. Thời gian để mô phỏng tính toán phụ thuộc rất nhiều vào tốc độ máy tính, kết cấu của vật thể, độ chính xác yêu cầu (độ chia nhỏ của lưới). Đối với các bài toán phức tạp cần phải sử dụng các siêu máy tính, chạy trong thời gian dài mới có thể giải xong. Do điều kiện trang bị máy tính chỉ là máy tính phổ thông, để giảm bớt độ phức tạp và thời gian tính toán, nhóm nghiên cứu chỉ mô phỏng tính toán cho 1/4 tầng của bộ HTNL (Hình H.6). Cấu tạo một tầng bộ HTNL bao gồm các vi phần tử làm lõi, tấm đế dày 5mm, ống dày 5mm bọc xung quanh làm dẫn hướng, tấm trên dày 5mm có thể trượt trên thành ống.

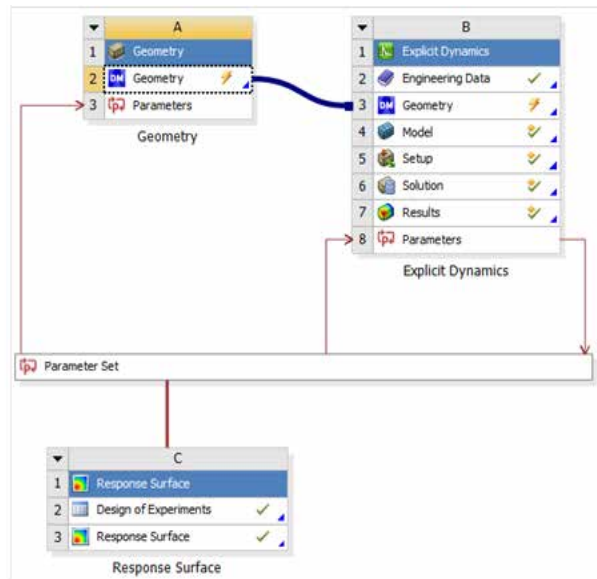
Mặt A và mặt B được ràng buộc chuyển bị theo phương pháp tuyến bằng 0. Vật liệu bộ HTNL được chọn trong thư viện có sẵn của Ansys là thép STEEL 4340, mặt dưới được khai báo gối cố định, tấm trên được ép xuống với tốc độ 10m/s.



H.6. Mô hình 3D của 1/4 tầng của bộ hấp thụ năng lượng

1. Lõi; 2. Tấm đế; 3. Vỏ trượt; 4. Tấm trên

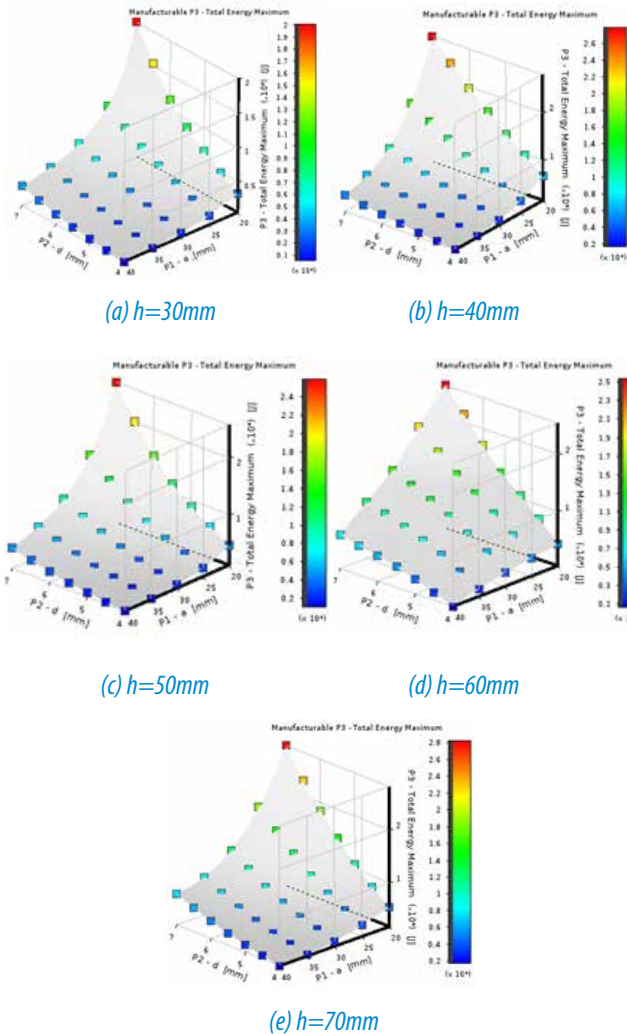
Lưu đồ quá trình phân tích mô phỏng được thể hiện ở Hình H.7.



H.7. Lưu đồ quá trình mô phỏng phân tích

Theo đó, giá trị các thông số đầu vào được khai báo ở mục Parameter Set: a=l/2=20mm; b=40mm; d=(5÷7)mm; h=(30÷70)mm. Mô hình thông số sẽ được tự động cập nhật theo giá trị các thông số ở mục Geometry. Sau khi được cập nhật giá trị thông số mới, mô hình được đưa vào mục mô phỏng Explicit Dynamic để tiến hành mô phỏng phân tích. Các giá trị đầu ra được cài đặt ở mục này bao gồm tổng năng lượng hấp thụ và giá trị phản lực lớn nhất. Sau khi phân tích xong, giá trị thông số mới lại được cập nhật và một chu trình mới bắt đầu cho đến khi mô phỏng hết các giá trị thông số. Giá trị của thông số đầu ra và đầu vào được tổng hợp và xây dựng thành đồ thị quan hệ ở mục Response Surface.

Sau khi chạy mô phỏng, thu được ảnh hưởng của các thông số đến khả năng hấp thụ năng lượng của kết cấu như Hình H.8.



Hình 8. Kết quả mô phỏng phân tích bằng Ansys

Từ các biểu đồ trên Hình H.8 ta có thể thấy quan hệ của hai thông số a, d với khả năng HTNL là một bề mặt cong liên tục. Giá trị năng lượng hấp thụ thấp nhất nằm ở điểm thiết kế a = 40mm, d = 4mm; giá trị năng lượng hấp thụ đạt cao nhất khi a = 20mm, d = 7mm. Như vậy có thể thấy khi tăng

a sẽ làm giảm khả năng HTNK của kết cấu, ngược lại tăng d sẽ làm tăng khả năng HTNL của kết cấu.

So sánh các giá trị các điểm tương ứng giữa các mức chiều cao h khác nhau, ta thấy h càng lớn thì tổng năng lượng hấp thụ càng lớn. Có thể điều này xảy ra là do khi h tăng sẽ làm cho chiều dài biến dạng hiệu dụng của kết cấu tăng nên, từ đó làm tăng khả năng HTNL. Tuy nhiên nếu bộ HTNL có nhiều tầng và tổng chiều cao của bộ HTNL là cố định, việc tăng chiều cao vi phần tử có thể làm giảm số lớp vi phần tử bố trí trong bộ HTNL. Chiều dài hành trình hiệu dụng mỗi lớp có thể tăng nhưng tổng chiều dài toàn bộ các lớp hầu như không thay đổi, do đó khi tăng h có thể làm giảm tổng năng lượng hấp thụ của một bộ HTNL.

3. KẾT LUẬN

➢ Kết quả phân tích mô phỏng cho thấy, các thông số cấu trúc của vi phần tử có ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng hấp thụ năng lượng của bộ hấp thụ năng lượng. Khi tăng kích thước đường kính chân (d) hoặc giảm bề rộng đáy vi phần tử (a) có thể khiến khả năng hấp thụ năng lượng của bộ hấp thụ năng lượng tăng. Ngược lại, giảm đường kính chân hoặc tăng bề rộng đáy có thể làm giảm khả năng hấp thụ năng lượng của kết cấu;

➢ Đối với thông số chiều cao h của mỗi vi phần tử, khi h tăng làm tăng mức hấp thụ năng lượng của mỗi vi phần tử, tuy nhiên lại khiến mức hấp thụ của tổng thể bộ hấp thụ năng lượng giảm xuống;

➢ Các phân tích, mô phỏng trong bài báo được thực hiện dưới điều kiện lý thuyết lý tưởng. Song trên thực tế bản thân các vật liệu luôn tồn tại lỗi khiến cho biến dạng và chịu lực không đồng đều nhau. Do đó cần có những nghiên cứu thử nghiệm thực tế để có những kết luận chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Trung Hải, Xu Ping, Yu Yinghua, Shen Jiaying (2021), Áp dụng bộ hấp thụ năng lượng cho vi chống dòn trong mỏ than hầm lò để nâng cao an toàn trong khi sử dụng, Tạp chí Công nghiệp Mỏ số 2-2021, Hà Nội, tr.42÷tr.49.
2. Nguyễn Đình Đức, Đào Như Mai (2011), Sức bền vật liệu và kết cấu. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF STRUCTURAL PARAMETERS ON THE ENERGY ABSORPTION OF PYRAMIDAL MICRO-ELEMENT LATTICE STRUCTURE

Pham Trung Hai, Xu Ping, Yu Yinghua, Shen Jiaying

ABSTRACT

The energy absorber uses a micro-element lattice structure designed to be used for hydraulic supports to increase the energy absorption and improve the safety of the supports. The article uses the analytical method based on the theory of material strength, combined with a numerical simulation method to investigate the influence of structure parameters of pyramidal micro-element on the energy absorption performance of energy absorber. The analysis shows that increasing the diameter of struts of pyramidal micro-element can increase force resistance capacity as well as the energy absorption capacity of energy absorber, vice versa increase the bottom width and height of micro-element can reduce the energy absorption capacity of energy absorber.

Keywords: energy absorber, micro-element lattice structure, pyramidal micro-element, hydraulic supports

Ngày nhận bài: 21/9/2022;

Ngày gửi phản biện: 24/9/2022;

Ngày nhận phản biện: 18/10/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 10/11/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.