

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ BUỒNG CỨU SINH SỬ DỤNG HỢP KIM NHÔM BẰNG PHẦN MỀM ANSYS WORKBENCH

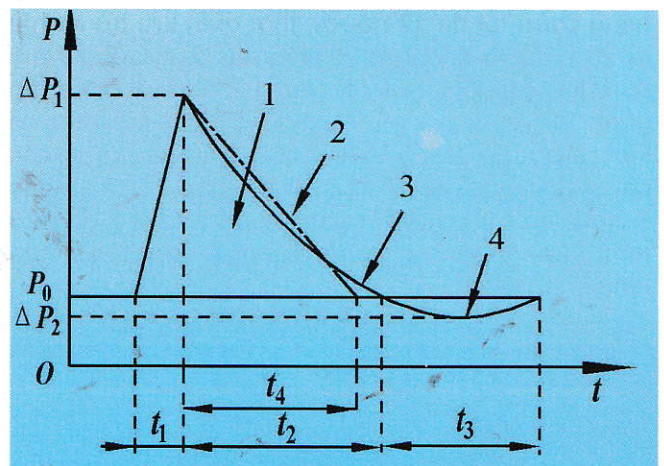
TRẦN NGỌC MINH - Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ
NGUYỄN DUY CHÍNH - Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Ngành công nghiệp khai thác mỏ hầm lò có tính nguy hiểm cao, chịu ảnh hưởng rất nhiều của các yếu tố không an toàn như: nổ khí, khí độc, bụi nước, sập lò,... Vì vậy, nâng cao tính an toàn trong khai thác mỏ hầm lò là một vấn đề cấp bách cần giải quyết. Ở các nước có ngành công nghiệp khai mỏ phát triển trên thế giới như Mỹ, Nga, Úc, Trung Quốc,... khả năng chống áp lực xung kích (ALXK) của buồng cứu sinh đã được nghiên cứu và thu được kết quả nhất định. Tuy nhiên cho đến nay, các nghiên cứu chỉ tập trung vào thiết kế buồng cứu sinh có kết cấu hoàn toàn bằng thép. Nhóm tác giả đã tận dụng các đặc tính ưu việt của hợp kim nhôm như: Trọng lượng nhẹ, khi có khối lượng bằng nhau thì chi tiết có độ cứng vững cao hơn chi tiết bằng thép, để thiết kế cải tiến buồng cứu sinh bằng cách sử dụng hợp kim nhôm trong kết cấu. Đồng thời sử dụng phần mềm ANSYS Workbench để tiến hành tối ưu hóa kết cấu và tính toán khả năng chống ALXK của buồng cứu sinh.

1. Lý thuyết áp lực xung kích tác động lên buồng cứu sinh khi nổ khí trong lò

Nổ khí trong mỏ hầm lò là quá trình hóa-lý, có đặc điểm: Giải phóng nhiệt, diễn biến rất nhanh, sinh ra một lượng khí rất lớn. Sau khi nổ khí, trong thời gian rất ngắn (khoảng 0,3 s) trong vùng trung tâm nổ hình thành một khối khí có nhiệt độ và áp suất cao, nhanh chóng giãn nở nhiệt, tạo nên sóng ALXK mạnh. Quá trình biến đổi sóng ALXK theo thời gian gồm ba giai đoạn chính (H.1).

Giai đoạn khởi đầu t_1 , ALXK tăng vọt, áp suất khí nổ tăng rất nhanh bị đẩy từ giá trị áp suất không khí P_0 lên giá trị cao nhất ΔP_1 , thời gian xảy ra rất ngắn trong vài phần nghìn giây. Giai đoạn chính t_2 - Áp suất khí nổ từ giá trị cao nhất ΔP_1 giảm xuống bằng áp suất không khí P_0 , gây ra phá hoại chủ yếu. Giai đoạn phụ t_3 - Áp suất khí nổ tiếp tục giảm đến giá trị ΔP_2 .



H.1. Đồ thị quan hệ áp lực xung kích với thời gian: 1 - Giai đoạn khởi đầu; 2 - Áp lực sóng xung kích lý thuyết; 3 - Áp lực sóng xung kích thực tế; 4 - Giai đoạn phụ

Hàm số thể hiện mối quan hệ giá trị của sóng xung kích với thời gian được tác giả Baker nghiên cứu đề xuất theo công thức 1 [2].

$$\Delta P(t) = \Delta P_1 \left(1 - \frac{t}{t_2}\right) \cdot e^{-\alpha t} \quad (1)$$

$$\Delta P_1 = 1,316 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{W}}{R}\right)^3 + 0,369 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{W}}{R}\right)^{1,5} \quad (2)$$

$$t_2 = 4 \times 10^{-4} \Delta P_1^{-0,5} \sqrt{W} \quad (3)$$

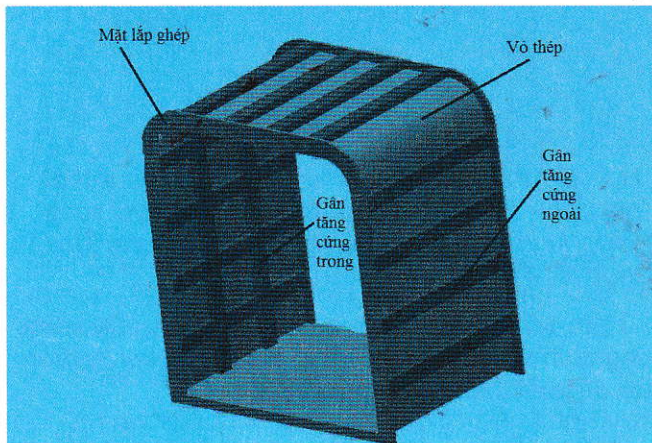
Trong đó: α - Hệ số tăng giảm áp suất; ΔP_1 - Giá trị áp suất khí nổ cao nhất; t_2 - Thời gian áp lực xung kích chính; W - Đương lượng thuốc nổ TNT, kg; R - Khoảng cách từ tâm nổ đến điểm cần xác định áp suất khí nổ, m.

Sóng ALXK trong quá trình truyền gặp chướng ngại vật sẽ xảy ra hiện tượng phản xạ và bị cộng hưởng làm tăng giá trị vài lần [3]. Tùy theo độ cứng vững, độ lớn và hình dạng của chướng ngại vật mà hiện tượng phản xạ và cộng hưởng sẽ tạo ra các

giá trị áp lực xung kích khác nhau, là hàm phi tuyến theo thời gian (Đường cong số 3). Tính toán khả năng chống ALXK của buồng cứu sinh theo hàm số này là rất phức tạp. Để đơn giản hóa, giá trị của ALXK theo thời gian được coi là hàm tuyến tính (Đường thẳng số 2) trong khoảng thời gian t_4 . Theo quy phạm an toàn, khả năng chống ALXK của buồng cứu sinh không được nhỏ hơn 0,3 MPa [4]. Trong điều kiện thực tế của mỏ hầm lò, chọn giá trị ALXK cao nhất với hệ số an toàn bằng 2 là $\Delta P_1=0,3 \times 2=0,6$ MPa, thời gian $t_1=0,005$ s; thời gian $t_4=0,3$ s (thời gian này không được nhỏ hơn 0,3 s) [4].

2. Kết cấu của buồng cứu sinh

Đối tượng nghiên cứu là loại buồng cứu sinh di động KJYF-96/12 do Trung Quốc sản xuất, có khả năng chứa tối đa 12 người, thời gian lưu trú ít nhất là 96 h. Loại buồng cứu sinh này bao gồm 9 mô đun độc lập có kết cấu tương tự nhau và được lắp ghép lại với nhau bằng bu lông. Mỗi mô đun có kích thước là 1200x1670x1860 mm, bao gồm các chi tiết chủ yếu sau (Hình 2): Vỏ thép có chiều dày 8 mm, mặt lắp ghép bằng thép có chiều dày 20 mm, gân tăng cứng trong và ngoài làm bằng thép hình U100x48x5.

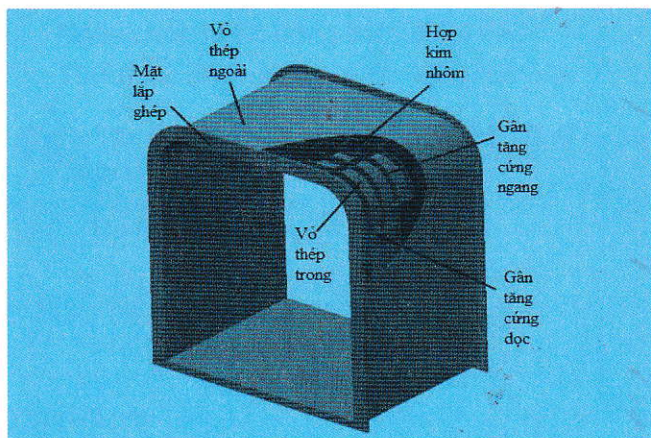


H.2. Mô đun buồng cứu sinh KJYF-96/12

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của thép Q345R

Tên gọi	Mô đun đàn hồi E (GPa)	Khối lượng riêng ρ , kg/m ³	Hệ số Poisson μ	Độ bền chảy σ_{ch} (MPa)	Độ bền kéo σ_k (MPa)
Giá trị	206	7860	0.3	345	510

Chia mô hình thành 31497 phần tử nhỏ hình lục giác (Hình 4), đặt ALXK lớn nhất 0,6 MPa tác động vào hai mặt bên và mặt trên của mô hình (H.5), mặt đáy và hai mặt lắp ghép được định vị hoàn toàn cố định. Kết quả tính toán cho thấy, mô hình chịu ứng suất lớn nhất là 242,32 MPa và có quy luật phân bố như H.6, mô hình có biến dạng lớn nhất là 1,6335 mm và có quy luật phân bố như H.7.



H.3. Mô đun guồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm

Để so sánh khả năng chịu ALXK của buồng cứu sinh thép và buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm, đề xuất kết cấu mô đun buồng cứu sinh như H.3, có kích thước tương đương mô đun buồng cứu sinh KJYF-96/12. Kết cấu bao gồm các chi tiết chủ yếu sau: Mặt lắp ghép bằng thép có chiều dày 20 mm, vỏ thép ngoài chiều dày x_1 , vỏ thép trong chiều dày x_2 , gân tăng cứng dọc bằng thép chiều dày x_3 , gân tăng cứng ngang bằng thép chiều dày x_5 . Điểm khác biệt là có lớp hợp kim nhôm chiều dày x_4 . Các giá trị chiều dày là tham số thiết kế sẽ được xác định cụ thể sau khi thiết kế tối ưu hóa.

3. Tính toán thiết kế tối ưu hóa buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm

3.1. Xác định biến dạng và ứng suất của mô đun buồng cứu sinh KJYF-96/12

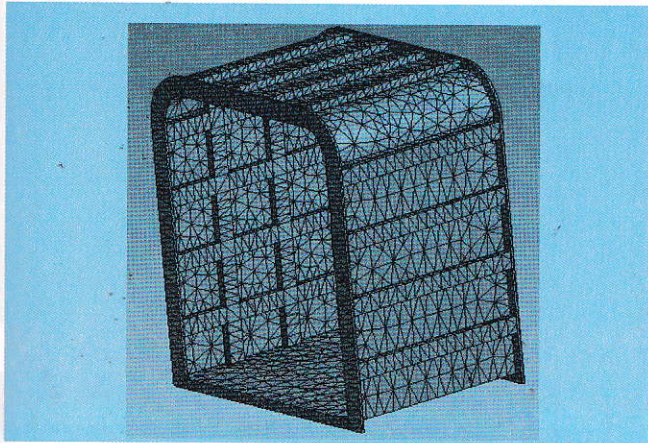
Sử dụng phần mềm Inventor xây dựng mô hình 3D mô đun buồng cứu sinh KJYF96/12 có khối lượng là 1014,2 kg. Sau đó chuyển mô hình này vào mô đun Static Structural của phần mềm ANSYS Workbench để phân tích theo phương pháp phần tử hữu hạn. Vật liệu chế tạo buồng cứu sinh nguyên bản là thép Q345R với các thông số cơ bản theo Bảng 1.

3.2. Tính toán thiết kế tối ưu hóa buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm

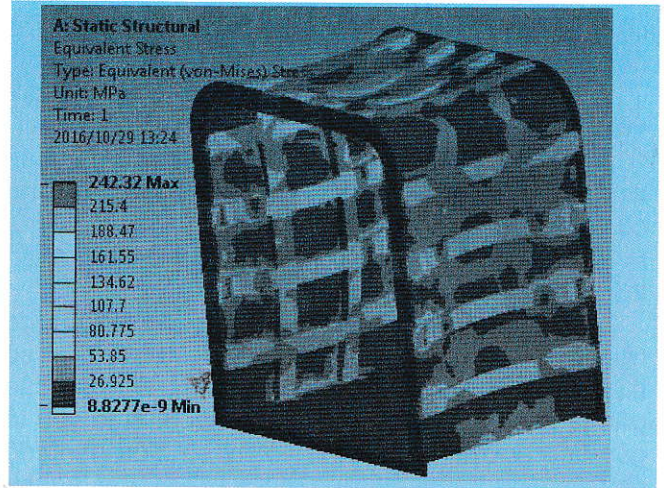
3.2.1. Thiết lập tham số thiết kế và hàm mục tiêu

Sử dụng mô đun Design Modeler của phần mềm ANSYS Workbench xây dựng mô hình 3D mô đun buồng cứu sinh có sử dụng hợp kim nhôm (H.3). Hợp kim nhôm có thông số kỹ thuật như trong Bảng

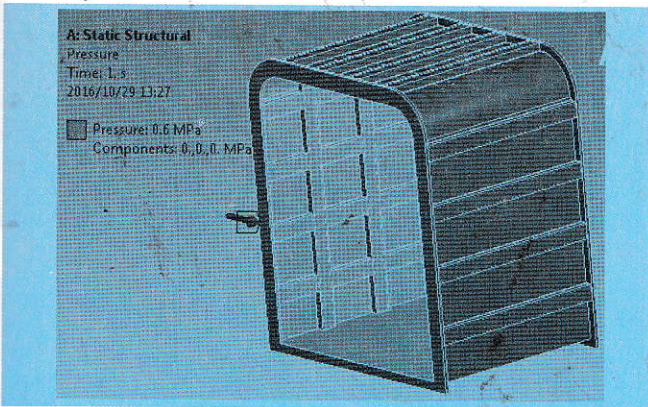
2, các chi tiết còn lại đều được chế tạo bằng thép Q345R với thông số kỹ thuật như Bảng 1 [5].



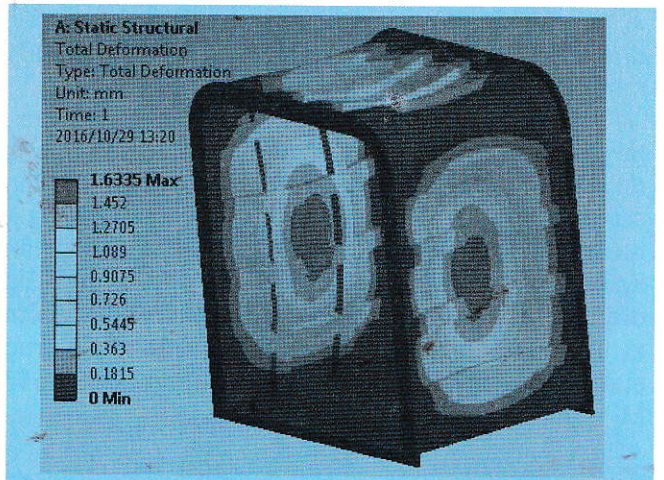
H.4. Phân chia mô hình thành các phần tử hữu hạn



H.6. Phân bố ứng suất



H.5. Đặt ALXK tác động lên mô hình



H.7. Biến dạng

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của hợp kim nhôm

Tên gọi	Mô đun đàn hồi E (GPa)	Khối lượng riêng ρ , kg/m ³	Hệ số Poisson μ	Độ bền chảy σ_{ch} (MPa)	Độ bền kéo σ_k (MPa)
Giá trị	12	540	0,33	12	14

Chia mô hình thành 208812 phần tử nhỏ hình lục giác, đặt ALXK và định vị cố định các mặt giống như trên. Lấy các hàm số: Ứng suất lớn nhất, biến dạng lớn nhất và khối lượng phụ thuộc vào ALXK của mô đun buồng cứu sinh hợp kim nhôm làm hàm mục tiêu cần tối ưu hóa. Sử dụng mô đun Response Surface

phân tích ảnh hưởng của các tham số thiết kế đối với hàm số mục tiêu và mô đun Direct Optimization để tính toán tối ưu hóa các tham số thiết kế (độ dày các chi tiết x_1, x_2, \dots). Khi chọn giới hạn của giá trị độ dày các chi tiết cần dựa theo độ dày các chi tiết của buồng cứu sinh nguyên bản như trong Bảng 3.

Bảng 3. Giới hạn độ dày các chi tiết

Tên gọi	Phạm vi thiết kế	Hàm mục tiêu	Giới hạn
Độ dày thép vỏ ngoài x_1	1÷8 mm	Độ dày gân ngang x_5	1÷8 mm
Độ dày thép vỏ trong x_2	1÷8 mm	Khối lượng f_1	<1014,2 kg
Độ dày gân dọc x_3	1÷8 mm	Ứng suất f_2	<242,32 MPa
Độ dày hợp kim nhôm x_4	20÷50 mm	Biến dạng f_3	<1,6335 mm

Với mục đích là tăng độ bền và giảm khối lượng thì

mô đun buồng cứu sử dụng hợp kim nhôm phải

có ứng suất, biến dạng và khối lượng nhỏ hơn mô đun buồng cứu sinh nguyên bản.

3.2.2. Ảnh hưởng của tham số thiết kế đối với hàm mục tiêu

Mô đun Response Surface sau khi tính toán xong sẽ tự động vẽ lại biểu đồ thể hiện ảnh hưởng của các tham số thiết kế đối với hàm mục tiêu (H.8, H.9, H.10). Dựa vào các biểu đồ này để dàng nhận thấy rằng:

➤ Đối với biến dạng: Độ dày của gân tăng cứng ngang x_5 là yếu tố gây ảnh hưởng lớn với tỷ số biến dạng/độ dày là 0,1494 mm/mm; Độ dày của gân tăng cứng dọc x_3 và vỏ thép ngoài x_1 là yếu tố gây ảnh hưởng trung bình với tỷ số biến dạng/độ dày lần lượt là 0,0805 mm/mm và 0,0725 mm/mm; Độ dày của các vỏ thép trong x_2 và hợp kim nhôm x_4 là yếu tố gây ảnh hưởng nhỏ với tỷ số biến dạng/độ dày lần lượt là 0,0592 mm/mm và 0,0481 mm/mm;

➤ Đối với ứng suất: Độ dày của vỏ thép trong x_2 là yếu tố gây ảnh hưởng lớn với tỷ số ứng suất/độ dày là 81,6629 MPa/mm; độ dày của gân tăng cứng dọc x_3 và vỏ thép ngoài x_1 là yếu tố gây ảnh hưởng trung bình với tỷ số ứng suất/độ dày lần lượt là 43,1040 MPa/mm và 34,3814 MPa/mm; Độ dày của gân tăng cứng ngang x_5 và hợp kim nhôm x_4 là yếu tố gây ảnh hưởng nhỏ với tỷ số ứng suất/độ dày lần lượt là 9,2218 MPa/mm và 8,5647 MPa/mm;

➤ Đối với khối lượng: độ dày của vỏ thép ngoài x_1 và vỏ thép trong x_2 là yếu tố ảnh hưởng lớn với tỷ số khối lượng/độ dày lần lượt là 47,0357 kg/mm và 46,2057 kg/mm; độ dày của gân tăng cứng ngang x_5 , gân tăng cứng dọc x_3 và hợp kim nhôm x_4 là yếu tố ảnh hưởng nhỏ với tỷ số khối lượng/độ dày lần lượt là 9,7857 kg/mm, 7,4875 kg/mm và 7,395 kg/mm.

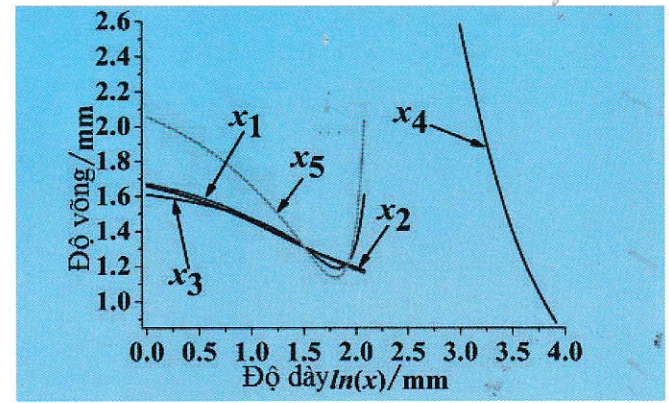
3.2.3. Phân tích kết quả tối ưu hóa

Mô đun Direct Optimization sau khi tính toán tối ưu hóa xong đã đưa ra kết quả như trong Bảng 4.

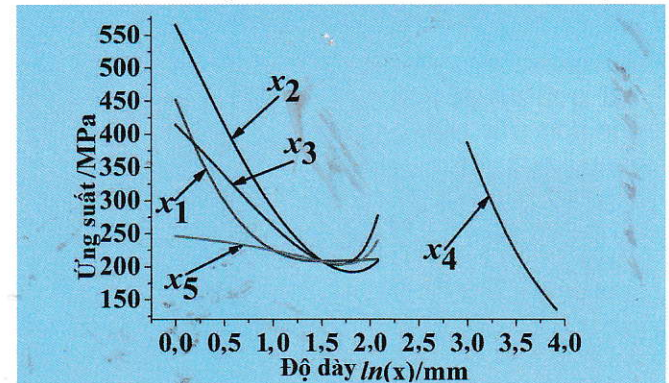
Bảng 4. Kết quả ưu hóa

Độ dày các chi tiết	x_1 , mm	x_2 , mm	x_3 , mm	x_4 , mm	x_5 , mm
Kết quả ưu hóa	3,415	4,868	4,790	49,826	5,446
Lựa chọn	3,5	5	5	50	5,5

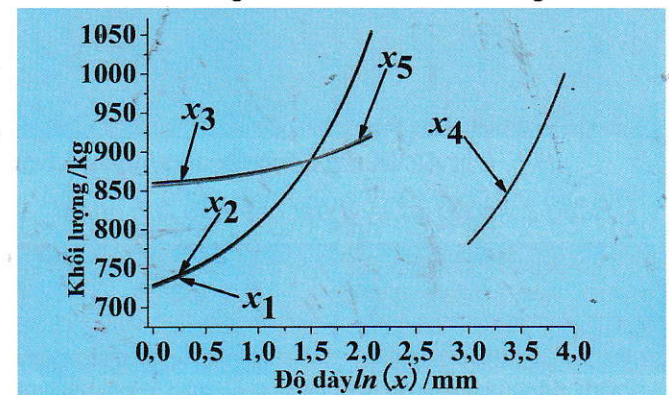
Lựa chọn độ dày các chi tiết, sau đó tiến hành phân tích lực buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm. Kết quả thu được: Biến dạng lớn nhất là 0,7771 mm và quy luật phân bố của mô hình như hình 11, ứng suất lớn nhất là 139,62 MPa và quy luật phân bố của mô hình như hình 12. Khối lượng của mô đun buồng cứu sinh sử dụng hợp kim



H.8. Ảnh hưởng tham số thiết kế tới biến dạng



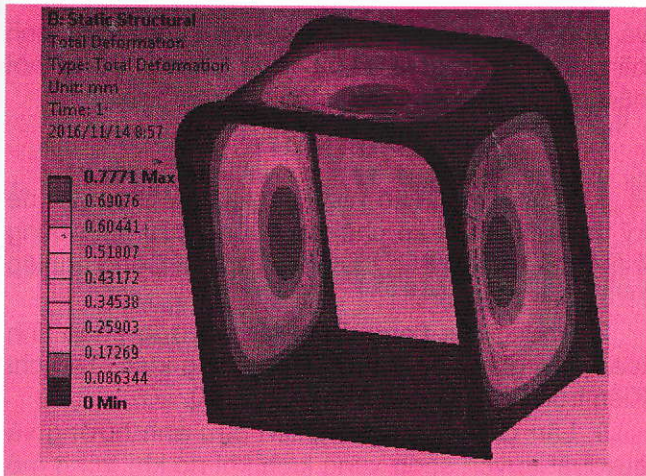
H.9. Ảnh hưởng tham số thiết kế tới ứng suất



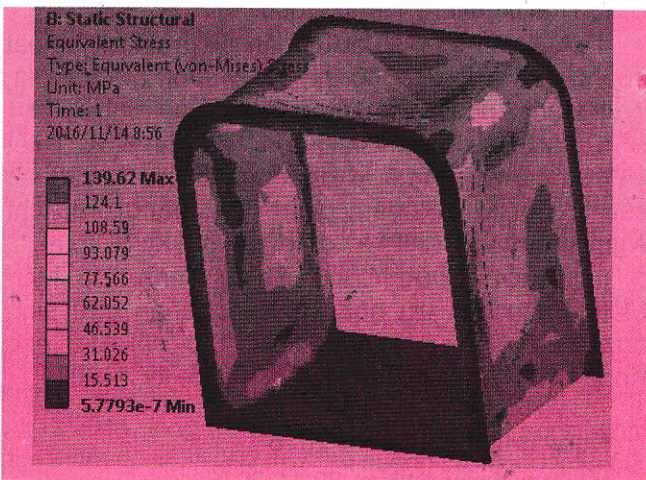
H.10. Ảnh hưởng tham số thiết kế tới khối lượng

nhôm là 994,87 kg.

Như vậy mô đun buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm so với kết cấu nguyên bản có: Khối lượng giảm 1,91 %; Biến dạng lớn nhất giảm 52,42 %; Ứng suất lớn nhất giảm 42,38 %. Kết quả này cho thấy, buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm có độ cứng vững cao hơn, do đó độ an toàn được nâng cao.



H.11. Phân bố biến dạng

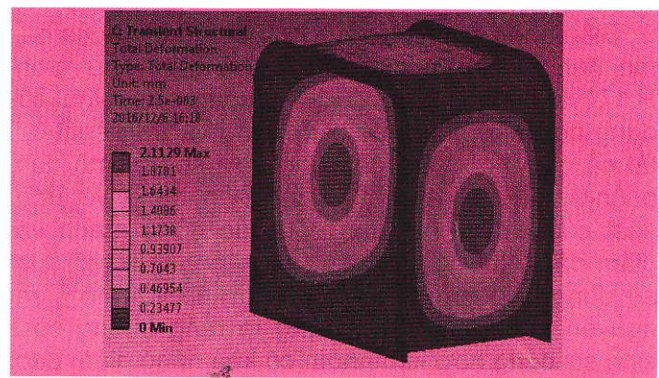


H.12. Phân bố ứng suất

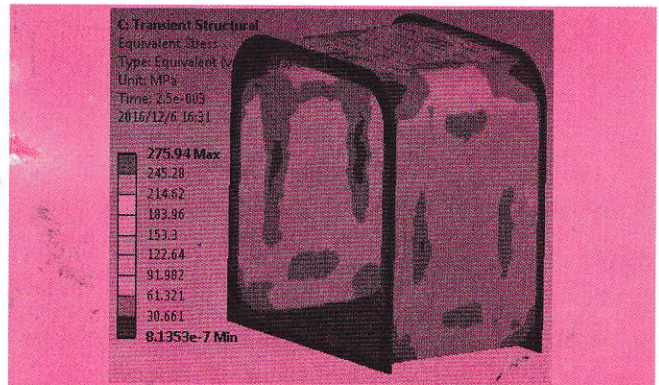
3.3. Tính toán khả năng chống áp lực xung kích

Sử dụng mô đun Transient Structural của phần mềm ANSYS Workbench để tính toán tác động động lực học ALXK lên buồng cứu sinh. Các bước được tiến hành tương tự như trên nhưng đặt ALXK thay đổi theo thời gian như đường số 2 trong hình H.1: áp lực lớn nhất $\Delta P_1=0,6$ MPa, $t_1=0,005$ s, $t_4=0,3$ s.

Kết quả tính toán cho thấy, hai mô hình mô đun buồng cứu sinh đều xuất hiện biến dạng lớn nhất và ứng suất lớn nhất tại thời điểm 0,0025s (Hình 13,14,15,16). Mô đun buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm có biến dạng lớn nhất và ứng suất lớn nhất lần lượt là 2,1129 mm và 275,94 MPa. Mô đun buồng cứu sinh nguyên bản có biến dạng và ứng suất lớn nhất lần lượt là 2,472 mm và 370,9 MPa. Như vậy mô đun buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm so với kết cấu nguyên bản có: Biến dạng lớn nhất giảm 14,53 %, ứng suất lớn nhất giảm 25,6 % và ứng suất được phân bố đều hơn. Như vậy, khả năng chống áp lực xung kích buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm đã được nâng cao.



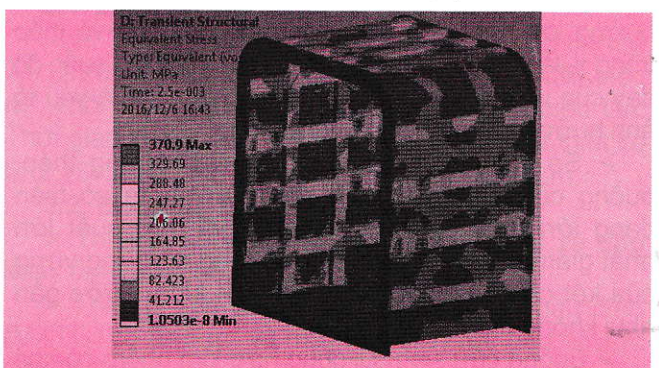
H.13. Biến dạng của mô đun sử dụng hợp kim nhôm khi bị tác động ALXK



H.14. Ứng suất của mô đun sử dụng hợp kim nhôm khi bị tác động ALXK

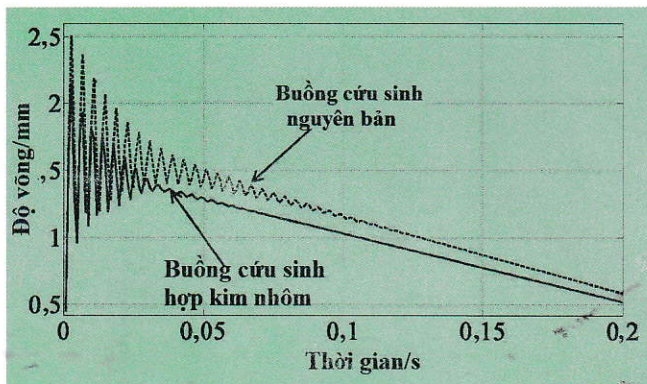


H.15. Biến dạng mô đun nguyên bản

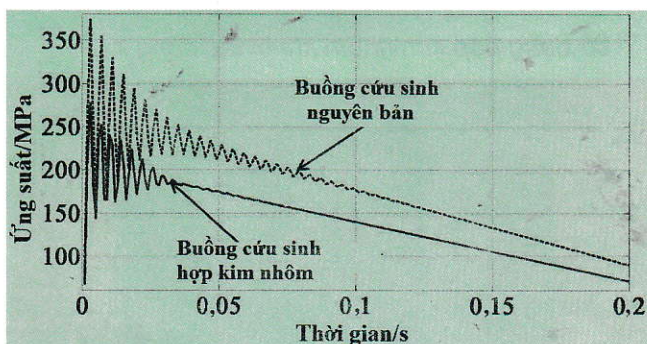


H.16. Ứng suất mô đun nguyên bản

Biến dạng lớn nhất và ứng suất lớn nhất của hai mô đun theo thời gian được thể hiện như hình H.17 và hình H.18. Mô đun buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm có biến dạng và ứng suất tại tất cả các thời điểm đều nhỏ hơn so với mô đun buồng cứu sinh nguyên bản. Biến dạng và ứng suất của cả hai mô đun đều dao động mạnh và giảm dần. Nhưng thời gian dao động của mô đun sử dụng hợp kim nhôm ngắn hơn so với mô hình nguyên bản. Điều này chứng tỏ rằng buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm có khả năng giảm dao động tốt hơn.



H.17. Quan hệ biến dạng theo thời gian



H.18. Quan hệ ứng suất theo thời gian

4. Kết luận

➤ Đối với buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm: độ dày của gân tăng cứng ngang x_5 là yếu tố gây ảnh hưởng lớn nhất đến biến dạng; độ dày của vỏ thép trong x_2 là yếu tố gây ảnh hưởng lớn đến ứng suất; độ dày của vỏ thép ngoài x_1 và vỏ thép trong x_2 là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến khối lượng.

➤ So với kết cấu buồng cứu sinh bằng thép, buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm có biến dạng lớn nhất giảm đi 52,42 % và ứng suất lớn nhất giảm đi 42,38 %, chứng tỏ rằng độ cứng vững của kết cấu đã được nâng cao với kích thước gần như không thay đổi.

➤ Buồng cứu sinh sử dụng hợp kim nhôm có khả năng chống áp lực xung kích cao hơn với biến dạng

và ứng suất lớn nhất giảm so với buồng cứu sinh bằng thép lần lượt là 14,53 % và 25,6 %. Đồng thời nó cũng có khả năng giảm dao động tốt hơn. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Ngọc Minh, Yu Ying Hua. Một số vấn đề kỹ thuật khi thiết kế chế tạo buồng cứu sinh dùng trong mỏ hầm lò trên thế giới. Tạp chí Công nghiệp Mỏ. Số 4-2016.
2. Phùng Hải Long. Tóm tắt phương pháp tính toán đơn giản hóa áp lực sóng xung kích. Tạp chí Kiến trúc Sơn Tây, số 36- kỳ 2- 2010.
3. Lận Chiêu Đông. Nghiên cứu ảnh hưởng và quy luật truyền sóng xung kích khi nổ khí trong mỏ hầm lò. Luận án Tiến sĩ năm 2014. Đại học Trung Bắc, Thái Nguyên, Trung Quốc.
4. AQ2011-11-3. Tiêu chuẩn điều kiện kỹ thuật buồng cứu sinh di động thể cứng trong mỏ hầm lò. Trung tâm An toàn Mỏ Trung Quốc, Bắc Kinh-2011.
5. Từ Bình, Thẩm Giai Hưng, Vu Anh Hoa. Thiết kế ưu hóa mô hình hợp kim nhôm bổ sung vào kết cấu thùng đỡ tải nhằm giảm chấn động. Tạp chí Nghiên cứu và Thiết kế cơ khí, số 32- kỳ 3- 2014.
6. Thường Đức Công, Thiệu Thần, Đỗ Mẫn Mẫn. Phân tích ưu hóa kết cấu buồng cứu sinh dựa trên ANSYS Workbenck. Tạp chí Đại học Khoa học Kỹ thuật Thanh Đảo, số 35- kỳ 3- 2014.

Ngày nhận bài: 02-10-2016

Ngày gửi phản biện: 22-11-2016

Ngày nhận phản biện: 27-02-2017

Ngày chấp nhận đăng bài: 08-04-2017

Từ khóa: buồng cứu sinh, nổ khí, mỏ hầm lò, hợp kim nhôm

SUMMARY

This paper presents the theoretical basis of pressure shock during a gas explosion and the valuation of maximum shocked pressure exerted on a mine refuge chamber. It also introduces the method of calculating the distribution of deflections and stresses in an aluminum alloy mine refuge chamber, which is dependent upon structural parameters such as the thickness of the case, the thickness of the reinforced edge, and the thickness of the aluminum alloys.