

Thiết kế và lựa chọn tối ưu kết cấu thép cầu trục

Design and optimization of crane structural

Nguyễn Hồng Tiến*, Nguyễn Tuấn Linh, Trần Nguyên Quyết

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

**Email: tiennhtn@gmail.com*

Mobile: 0918371386

Tóm tắt

Từ khóa:

Thiết kế; Tối ưu; Kết cấu; Phương pháp thiết kế; Thép cầu trục...

Trong những năm gần đây vấn đề thiết kế tối ưu kết cấu thép cầu trục có vai trò và ý nghĩa quan trọng, nhằm mục đích xác định kích thước hợp lý của kết cấu trên cơ sở đảm bảo đủ bền với trọng lượng nhỏ nhất, tương ứng với chi phí vật liệu nhỏ nhất, không chỉ cho phép giảm giá thành sản phẩm mà còn ảnh hưởng tốt đến các tính năng của kết cấu cầu trục. Với yêu cầu như vậy, việc tính toán kết cấu theo lý thuyết tối ưu là hết sức cần thiết.

Abstract

Keywords:

Design, Optimization, Texture, Design methods, Steel crane...

In recent years the problem optimal design of structural steel crane role and significance, aims to determine the appropriate size of the structure on the basis of ensuring adequate strength with minimum weight, corresponds to the minimum cost of materials, not only for reducing production costs but also good impact on the structural features of the crane. With such requirements, the calculation of the theoretical structural optimization is essential.

Ngày nhận bài: 21/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 13/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Cầu trục là loại máy cầu trục phổ biến nhất, dùng để phục vụ việc cơ giới hóa nâng chuyển vật nặng trong phân xưởng và trong kho.

Trong cầu trục phần kết cấu kim loại chiếm 60 - 80% khối lượng toàn máy. Vì vậy việc chọn vật liệu và phương pháp tính để kết cấu kim loại đảm bảo đủ bền khi làm việc và đạt được chỉ tiêu kinh tế là điều rất quan trọng.

Trong những năm gần đây vấn đề thiết kế tối ưu kết cấu thép cầu trục có vai trò và ý nghĩa quan trọng, nhằm mục đích xác định kích thước hợp lý của kết cấu trên cơ sở đảm bảo đủ bền với trọng lượng nhỏ nhất, tương ứng với chi phí vật liệu nhỏ nhất, không chỉ cho phép giảm giá thành sản phẩm mà còn ảnh hưởng tốt đến các tính năng của kết cấu cầu trục. Với yêu cầu như vậy, việc tính toán kết cấu và lựa chọn theo lý thuyết tối ưu là hết sức cần thiết.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Tổng quan về tối ưu hóa kết cấu

Hiện nay trong thiết kế kết cấu ngoài việc yêu cầu độ bền, độ ổn định, độ cứng chúng ta cần thiết kế sao cho chi phí vật liệu, giá thành và trọng lượng toàn kết cấu là nhỏ nhất... nên việc tính toán tối ưu kết cấu là rất quan trọng.

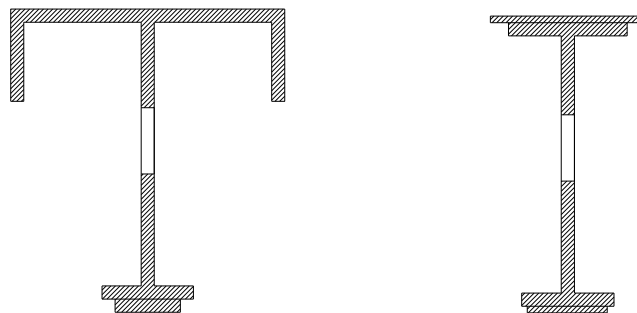
Thiết kế tối ưu kết cấu thực chất là bài toán xác định đặc điểm hình học hợp lý của kết cấu thỏa mãn một số điều kiện ràng buộc và đảm bảo một số tiêu chuẩn nào đó là lớn nhất hay bé nhất.

2.2. Tổng quan kết cấu thép cầu trục

Kết cấu kim loại là phần dàn tựa chịu tải chính của cầu trục mà trên đó ta đặt các cơ cấu để thực hiện những chuyển động theo ý muốn. Dựa vào kết cấu dầm chính, kết cấu kim loại cầu trục được chia làm hai loại: cầu trục một dầm và cầu trục hai dầm.

2.2.1. Dầm chính của cầu trục một dầm

Dầm chính thường chế tạo từ dầm thép hình chữ I. Kích thước dầm thép chữ I được chọn từ điều kiện đảm bảo độ bền, độ cứng và độ ổn định, được tính toán theo tải trọng nâng, khẩu độ và khả năng di chuyển của palăng theo gờ dưới của dầm. Ngoài ra cần kiểm tra độ cứng vững theo phương ngang của dầm trong điều kiện làm việc cụ thể. Trong trường hợp không đủ bền và không đủ ổn định thì tăng thêm độ cứng cho dầm bằng cách hàn thêm thanh giằng vào cạnh trên của dầm chính.



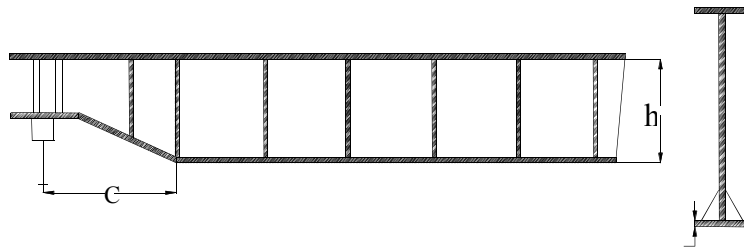
Hình 1. Phương án giảm khối lượng

Thông thường cầu trục một dầm sử dụng dầm chính kiểu thép I chỉ dùng cho loại cầu trục có khẩu độ đến 15m, tải trọng nâng đến 10 tấn, có thể dẫn động bằng tay hoặc bằng điện.

2.2.2. Dầm chính của cầu trục hai dầm

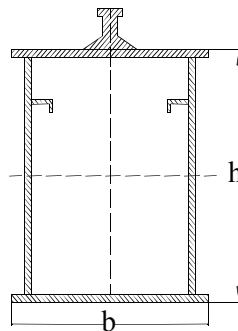
Đơn giản nhất của kết cấu cầu trục hai dầm là dùng hai dầm thép I đặt song song và gối đầu lên hai dầm dầm, trên dầm chữ I có đường ray để xe con di chuyển. Liên kết dầm chính với dầm đầu bằng hàn hoặc bu - lông.

Đối với loại có tải trọng lớn hơn thường sử dụng dầm I nhưng có gia cố mặt sàn công tác và có lan can cả hai phía. Một dạng thường dùng nữa là dùng thép tấm liền hàn thành 3 mặt hở. Kết cấu cơ bản của loại này bao gồm một tấm đứng dọc, một tấm trên và một tấm dưới và các gân tăng cứng được hàn vuông góc và cách quãng với tấm đứng dọc (Hình 2).



Hình 2. Dầm chính 3 mặt hờ

Dạng thường dùng nhất cho dầm chính của cầu trục hai dầm là hộp kín 4 mặt. Mặt cắt ngang của dầm thường có hình chữ nhật. Kích thước cơ bản là chiều cao h và chiều rộng hộp b . Để đảm bảo độ bền, cứng vững thường chọn theo [1] : $h = (\frac{1}{14} \div \frac{1}{18}).L$ (mm)



Hình 3. Dầm hộp kín 4 mặt

Chiều cao phần đầu dầm và chiều dài phần nghiêng thường chọn :

$$h_0 = (0,4 \div 0,6)h; \quad c = (0,1 \div 0,2)L \text{ (mm)}$$

Chống xoắn dầm kích thước b lấy theo: $b = (0,33 \div 0,5)h$ (mm)

Chiều dày thành không nhỏ hơn 6 mm, tấm trên có đặt ray nên tối thiểu bằng 6mm.

Một kiểu dầm chính thường được sử dụng nữa là kiểu dàn. Kiểu dàn có ưu điểm là trọng lượng nhỏ hơn kiểu dầm hộp nên được dùng cho cầu trục hai dầm có khẩu độ và tải trọng lớn. Dầm kiểu dàn không gian được thể hiện trên hình 3.

Kiểu dầm hộp tuy có nặng hơn nhưng chế tạo đơn giản hơn, độ cứng vững trong mặt phẳng đứng tốt hơn, độ bền chịu tải trọng thay đổi cao hơn dầm kiểu dàn không gian.

2.2.3. Dầm đầu

Dầm đầu của kết cấu kim loại cầu trục thường được chế tạo bằng thép CT3. Kết cấu có thể theo 1 trong 2 dạng thông dụng: dạng]] chế tạo từ thép hình U ghép lưng lại hoặc dầm hộp. Dạng thứ nhất thường được dùng khi dầm chính được làm từ thép I, còn loại thứ 2 khi dầm chính dạng hộp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu tối ưu trong báo cáo này đưa ra so sánh giữa phương pháp kinh nghiệm [11] với phương pháp nhóm tác giả tính toán thiết kế.

3.1. Xây dựng mục tiêu, hàm ràng buộc

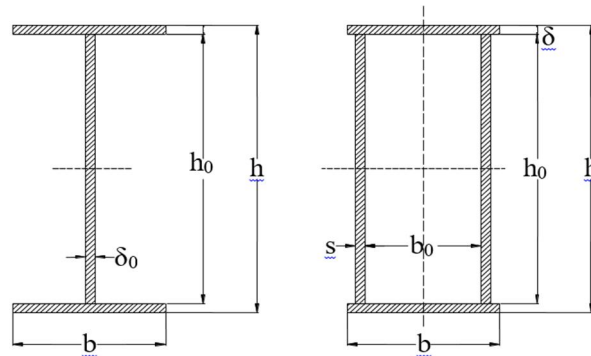
Việc xác định các kích thước trong kết cấu dạng I ghép hộp khó khăn hơn do các kích thước này không được tiêu chuẩn hóa. Tiết diện mặt cắt ngang dầm thể hiện trên hình 3. Có thể dễ dàng thấy rằng để xác định tiết diện cần biết các kích thước như độ dày cánh (δ_c) độ dày vách (δ_0) chiều rộng cánh (b) và chiều cao vách (h_0) hoặc chiều cao tiết diện (h). Do đó nếu chỉ xuất phát từ các điều kiện về đảm bảo độ bền và độ cứng như trên thì sẽ có vô số các tổ hợp kích thước thỏa mãn. Vấn đề đặt ra là trong các bộ kích thước này nên chọn sao cho có tiết diện bé nhất, do vậy khối lượng dầm sẽ ít nhất và làm cho giảm giá thành kết cấu kim loại. Trước đây, các kích thước này thường được chọn theo kinh nghiệm [1,6]. Với kết cấu dạng hộp chiều cao và chiều rộng tiết diện chọn theo khẩu độ [6]:

$$h = \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{20}\right) L \quad (1)$$

$$b = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) h \geq \left(\frac{1}{40} + \frac{1}{50}\right) L \quad (2)$$

$$\delta \geq 6 \text{ mm} \quad (3)$$

Rõ ràng, việc lựa chọn như trên cũng chỉ mang tính tương đối. Để chọn được tiết diện có kích thước nhỏ cần phải thực hiện nhiều phương án và sau đó so sánh kết quả, do đó dễ mất rất nhiều thời gian và công sức. Dưới đây là 1 phương pháp khác để xây dựng các kích thước tối ưu của tiết diện dầm chính cầu trục, được xây dựng trên cơ sở giải bài toán tối ưu [8].



Hình 4. Tiết diện dầm chính cầu trục (kết cấu dầm đơn)

Gọi A_c là diện tích tiết mặt cắt các cánh trên và dưới, vì chiều dày cánh không đáng kể nên hàm mục tiêu A (tổng diện tích tiết diện) được thể hiện gần đúng như sau:

$$A = 2A_c + h.t \rightarrow \min \quad (4)$$

Nếu đặt $m = ht / A$ để đặc trưng cho tỷ số giữa tiết diện tích vách bên và tổng diện tích tiết diện, hàm mục tiêu trở thành: $A = \frac{ht}{m} \rightarrow \min$ (5)

Các ràng buộc, như đã nói ở trên bao gồm:

1. Độ cứng: do tính với tổ hợp tải I nên chỉ có tải trọng theo phương thẳng đứng, vì vậy tiết diện cần có mô men quán tính theo trục y-y không bé hơn giá trị yêu cầu:

$$J \approx \frac{th^3}{12} + 2Ac\left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{Ah^2}{12}(3 - 2m) \geq J_{yc} \quad (6)$$

2. Độ bền: tiết diện cần có mô men cản uốn theo trục y-y không bé hơn giá trị yêu cầu tính theo công thức (3): $W \approx \frac{J}{0,5h} = \frac{Ah^2}{6} (3 - 2m) \geq W_{yc}$ (7)

3. Độ ổn định cục bộ thể hiện qua việc hạn chế chế độ mảnh của tấm vách:

$$4. \text{ Hoặc } \lambda \approx \frac{h}{\delta_0} \leq [\lambda]; \quad \lambda^* \approx \frac{h}{t} \leq \lambda_0 \quad (8)$$

Trong đó, $[\lambda]$ được xác định theo [11] tùy theo cách tăng cứng được sử dụng cho dầm, λ_0 lấy bằng $[\lambda]$ với kết cấu dạng chữ I hoặc $0,5[\lambda]$ với kết cấu hộp.

Ngoài ra, độ dày của các tấm vách cũng không được phép quá bé do các ràng buộc về công nghệ, về ứng suất cục bộ, cũng như cần đảm bảo độ bền cắt:

$$\text{Hay } \delta_0 \geq \delta_{\min}; \quad t \geq t_0 \quad (9)$$

Chiều dày tấm (mm) thường được chọn theo trọng tải cầu trục $\delta_{\min} = 6$ với trọng tải đến 20 tấn; 8- từ 20 tấn đến 75 tấn; 10 - từ 75 tấn đến 200 tấn và 12 - với trọng tải lớn hơn $t = \delta_{\min}$ tùy theo kết cấu chữ I hoặc hộp.

5. Ràng buộc cuối cùng sau đây nhằm tránh các lời giải không thực tế, loại trừ các trường hợp dầm không có cánh ($m \approx 1$) và dầm không có vách ($m \approx 0$)

$$0,25 \leq m \leq 0,75 \quad (10)$$

Có thể thấy rằng các ràng buộc về độ cứng và độ bền đóng vai trò quan trọng trong các ràng buộc đã chỉ ra. Vì vậy, việc giải bài toán tối ưu có thể được giải quyết như sau:

3.1.1. Nếu bỏ qua ràng buộc về độ cứng (6). Khi thay thế ràng buộc về độ bền (7) bằng đẳng thức $W = W_{yc}$ hàm mục tiêu được viết thành:

$$A = \frac{6W_{yc}}{(3-2m)h} \rightarrow \min \quad (11)$$

Có thể thấy rằng hàm mục tiêu chỉ còn phụ thuộc vào 2 tham số m và h và bài toán tối ưu này được gọi là tối ưu theo mô men cản uốn cần thiết hoặc tối ưu theo độ bền. Nếu thay thế ràng buộc về độ ổn định cục bộ (8) bằng đẳng thức, có thể tính được h qua độ mảnh λ_0 và tiết diện A :

$$\frac{h}{t} = \lambda_0 \text{ hay } \frac{h^2}{th} = \lambda_0^2 \quad \text{Nhưng } t.h = A.m \text{ nên tính được: } h = \sqrt{Am\lambda_0}$$

$$\text{Nên hàm mục tiêu chỉ phụ thuộc vào duy nhất thông số } m: A = \sqrt[3]{\frac{36W_{yc}^2}{m(3-2m)^2\lambda_0}} \rightarrow \min \quad (12)$$

Hàm đạt bé nhất khi $d_A/d_m = 0$ từ đó tính được $m=0,5$ thỏa mãn ràng buộc (3.10). Để ràng buộc còn lại (9) cũng thỏa mãn cần thêm điều kiện: $t = \frac{h}{\lambda_0} = \frac{\sqrt{Am\lambda_0}}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{A.0,5}{\lambda_0}} = \sqrt{\frac{A}{2\lambda_0}}$

Kết hợp với đẳng thức (12) và $m = 0,5$ điều kiện này có thể viết dưới dạng: $W_{yc} \geq \frac{2}{3} \lambda_0^2 t_0^3$

$$\text{Nếu đặt } W_1 = \frac{1}{3} \lambda_0^2 t_0^3 \quad (13)$$

$$\text{Thì ràng buộc cuối cùng sẽ phải thỏa mãn khi: } W_{yc} = 2W_1 \quad (14)$$

Nói cách khác nếu điều kiện (14) thỏa mãn, việc tối ưu theo độ bền sẽ cho kết quả tương ứng với $m = 0,5$ và các thông số của tiết diện được tính như sau:

$$A = \sqrt[3]{\frac{18W_{yc}^2}{\lambda_0}}; h = \sqrt{\frac{A\lambda_0}{2}}; t = \sqrt{\frac{A}{2\lambda_0}}; A_c = \frac{A}{4} \quad (15)$$

Nếu thay ràng buộc (9) bằng đẳng thức tức là $t = t_0$, do đó $h = \frac{mA}{t_0}$ và hàm mục tiêu trở thành:

$$A = \sqrt{\frac{6W_{yc}t_0}{m(3-2m)}} \rightarrow \min \quad (16)$$

Hàm đạt giá trị bé nhất khi $\frac{dA}{dm} = 0$, từ đó tính được $m = 0,75$ thỏa mãn (10). Để ràng buộc còn lại (8) cũng thỏa mãn cần thêm điều kiện: $\frac{h}{t} = \frac{h}{t_0} = \frac{0,75A}{t_0^2}$

$$\text{Với } m = 0,75 \text{ điều kiện này có thể viết dưới dạng: } W_{yc} \leq W_1 \quad (17)$$

Trong đó W_1 được xác định theo công thức (13).

Do đó nếu điều kiện (16) thỏa mãn, việc tối ưu theo độ bền sẽ cho kết quả tương ứng với $m = 0,75$ và các thông số tiết diện được tính: $A = 4\sqrt{\frac{W_{yc}t_0}{3}}; h = \frac{3A}{t_0}; t = t_0; A_c = \frac{A}{8}$ (18)

Như vậy các trường hợp $W_{yc} \leq W_1$ và $W_{yc} \geq 2W_1$ đã giải quyết xong. Có thể thấy khi $W_1 \leq W_{yc} \leq 2W_1$ tiết diện sẽ bé nhất khi đồng thời thay thế các ràng buộc (8) và (9) bằng đẳng thức, tức là $t = t_0$ và $\frac{h}{t} = \frac{h}{t_0} = \lambda_0$. Khi đó thông số m và các thông số khác của tiết diện được xác định:

$$m = \frac{3}{2\left(\frac{W_{yc}}{W_1} + 1\right)} \quad (19)$$

$$A = \frac{\lambda_0 t_0^2}{m}; h = \lambda_0 t_0; t = t_0; A_c = \frac{1-m}{2} A \quad (20)$$

Dễ thấy rằng với $W_1 \leq W_{yc} \leq 2W_1$ thì ràng buộc (10) cũng thỏa mãn.

3.1.2. Nếu bỏ qua ràng buộc về độ bền (7), có thể thấy rằng diện tích tiết diện A sẽ đạt giá trị bé nhất khi $J = J_{yc}$. Từ công thức (6) tính được diện tích tiết diện A và hàm mục tiêu chỉ còn phụ thuộc vào 2 tham số m và h : $A = \frac{12J_{yc}}{(3-2m)h^2} \rightarrow \min$ (21)

Bài toán tối ưu này được gọi là *tối ưu theo mô men quán tính cần thiết hoặc tối ưu theo độ cứng*.

Thay thế ràng buộc (8) bằng đẳng thức, tính được h qua λ_0 và hàm mục tiêu chỉ còn phụ thuộc duy nhất tham số m : $A = \sqrt{\frac{12J_{yc}}{\lambda_0 m(3-2m)}} \rightarrow \min$ (22)

Hàm đạt giá trị nhỏ nhất khi $dA/dm = 0$ và tìm được $m = 0,75$ thỏa mãn ràng buộc (10). Để thỏa mãn cả ràng buộc (9), với $m = 0,75$ cần thêm điều kiện:

$$t = \frac{h}{\lambda_0} = \frac{\sqrt{Am\lambda_0}}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{A \cdot 0,75}{\lambda_0}} = \sqrt{\frac{3A}{4\lambda_0}} \geq t_0$$

$$\text{Điều kiện này có thể viết dưới dạng: } J_{yc} \geq \frac{1}{6}\lambda_0^3 t_0^4 \text{ Nếu đặt } J_1 = \frac{1}{6}\lambda_0^3 t_0^4 \quad (23)$$

$$\text{Thì ràng buộc cuối cùng này sẽ thỏa mãn khi: } J_{yc} \geq J_1 \quad (24)$$

Nói cách khác, nếu điều kiện (24) thỏa mãn, việc tối ưu theo độ bền sẽ cho kết quả tương ứng với $m = 0,75$ và các thông số của diện tích được tính như sau:

$$A = \sqrt{\frac{32J_{yc}}{3\lambda_0}}; h = \sqrt{\frac{3A\lambda_0}{4}}; t = \sqrt{\frac{3A}{4\lambda_0}}; A_c = \frac{1}{8}A \quad (25)$$

Nếu thay ràng buộc (9) bằng đẳng thức, tức là $t = t_0$, do đó $h = \frac{mA}{t_0}$ và hàm mục tiêu trở thành:

$$A = \sqrt[3]{\frac{12J_{yc}t_0^2}{m^2(3-2m)}} \rightarrow \min \quad (26)$$

Hàm đạt giá trị bé nhất khi $dA / dm = 0$, ứng với $m = 1$, không thỏa mãn ràng buộc $0,25 \leq m \leq 0,75$. Dựa trên đồ thị hàm số $A(m)$ trên hình 3.3, có thể thấy rằng với m trong khoảng này hàm nghịch biến, nên kết quả tối ưu sẽ đạt được khi $m = 0,75$.

Để thỏa mãn cả ràng buộc (8) cần đảm bảo: $\frac{h}{t} = \frac{h}{t_0} = \frac{0,75A}{t_0^2} \leq \lambda_0; J_{yc} \leq J_1$ với J_1 được tính theo biểu thức (23).

Các thông số của diện tích được tính: $A = 4\sqrt[3]{\frac{2J_{yc}t_0^2}{9}}; h = \frac{3A}{4t_0}; t = t_0; A_c = A/8 \quad (27)$

3.1.3. Để tối ưu hóa cần thỏa mãn cả độ bền và độ cứng cần kết hợp cả hai trường hợp a và b. Kết quả tối ưu cần thỏa mãn đồng thời các điều kiện về độ bền và độ cứng. Gọi diện tích tiết diện tính được theo độ bền là A_W và theo độ cứng là A_J , tính theo các công thức (12) và (22):

$$A_W = \sqrt[3]{\frac{36W_{yc}^2}{m(3-2m)^2\lambda_0}} \text{ và } A_J = \sqrt{\frac{12J_{yc}}{\lambda_0 m(3-2m)}}$$

Có thể thấy rằng khi $m = 1$, hai giá trị như nhau. Với m từ 0,25 đến 0,75, tùy theo giá trị của W_{yc} và J_{yc} , đồ thị của hàm số này theo tham số m có thể có các vị trí tương ứng.

Đặt $\omega = W_{yc}/W_1$ và $j = J_{yc}/J_1$ tất cả các trường hợp trên có thể xét vào một trong các vùng từ I đến VI trong biểu đồ phân vùng theo [12]. Từ đó nhóm tác giả đưa ra các bước giải bài toán như sau:

1. Tính các thông số J_{yc} và W_{yc}
2. Tính các thông số J_1 và W_1 - công thức (23) và (13).
3. Tính các tỷ số $\omega = W_{yc}/W_1$ và $j = J_{yc}/J_1$.
4. Dựa vào quan hệ ω và j , phương pháp tính tối ưu thông qua các miền.
5. Công thức tính kích thước tiết diện tương ứng với các miền này cho trong bảng 1.
6. Chọn chiều dày cánh $\delta_c \geq \delta_0$ và tính chiều rộng b qua diện tích cánh A_c .

Bảng 1. Kích thước tối ưu tiết diện dầm chính cầu trục (dầm đơn)

Vùng	Tối ưu theo	Kích thước tối ưu
I	$J; m = 0,75$	$A = \frac{16}{3}\lambda_0 t_0^2 \sqrt{j}; h = \lambda_0 t_0^4 \sqrt{j}; t = t_0^4 \sqrt{j}; A_c = \frac{1}{8}A$
II	$J; m = 0,75$	$A = \frac{16}{3}\lambda_0 t_0^2 \sqrt[3]{j}; h = \lambda_0 t_0^3 \sqrt[3]{j}; t = t_0; A_c = \frac{1}{8}A$
III	$W; m = 0,75$	$A = \frac{16}{3}\lambda_0 t_0^2 \sqrt{w}; h = \lambda_0 t_0 \sqrt{w}; t = t_0; A_c = \frac{1}{8}A$
IV	$W; m = \frac{3}{2(w+1)}$	$A = \frac{8}{3}\lambda_0 t_0^2 (w+1); h = \lambda_0 t_0; t = t_0; A_c = \frac{2(2w-1)}{3}\lambda_0 t_0^2$
V	$W; m = 0,5$	$A = 8\lambda_0 t_0^2 \left(\frac{w}{2}\right)^{2/3}; h = \lambda_0 t_0 \sqrt[3]{\frac{w}{2}}; t = t_0 \sqrt[3]{\frac{w}{2}}; A_c = \frac{1}{4}A$
VI	$W \text{ và } J; m = \frac{3}{2\left(\frac{w^4}{j^3} + 1\right)}$	$A = \frac{8}{3}\lambda_0 t_0^2 \left(\frac{j}{w}\right)^2 \left(\frac{w^4}{j^3} + 1\right); h = \lambda_0 t_0 \frac{j}{w}; t = t_0 \frac{j}{w}; A = \frac{1}{3}\left(\frac{w^4}{j^3} - 1\right)\lambda_0 t_0^2$

Phương pháp mô tả đây đã bỏ qua ảnh hưởng của tải trọng ngang tác dụng lên kết cấu dầm. Thực tế, trong quá trình vận hành mỗi khi cơ cấu di chuyển cầu, khởi động hoặc phanh, các tải trọng này xuất hiện. Độ lớn của chúng phụ thuộc vào khối lượng và gia tốc di chuyển. Để đánh giá ảnh hưởng của chúng tác giả [11] xác định tiết diện hợp lý về mặt khối lượng của dầm chịu uốn được đánh giá bằng tỷ số $W/\sqrt{F^3}$, nếu cùng diện tích tiết diện F mà dầm có mô men chống uốn W càng lớn thì càng tiết kiệm vật liệu. Vì vậy, tiết diện hợp lý nhất là tiết diện hình chữ I có tấm biên dày nhất có thể khi mà điều kiện ổn định tổng thể và ổn định cục bộ của tấm thành và tấm biên cho phép.

Các thông số hình học của dầm như chiều cao h, chiều rộng b, chiều dày thành δ và biên δ_b được xác định phù hợp với các yêu cầu của trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai: độ bền, ổn định, độ cứng. Khi này dầm phải có khối lượng nhỏ nhất và có tính công nghệ cao và được chọn theo tiêu chuẩn của nhà sản xuất thép tấm. Các kích thước chiều cao, chiều rộng dầm cũng được chuẩn hóa để phù hợp với khổ thép. Theo công thức thực nghiệm ta có cách tính theo [10].

Một giải pháp khác để thiết kế tối ưu tiết diện là giải bài toán này trên miền rời rạc của các kích thước công nghệ nêu trên. Kết quả sẽ tránh được các bất cập khi tối ưu trên miền rời rạc và sau đó làm tròn kết quả, là tăng kích thước (nếu làm tròn lên) hoặc giảm độ bền và độ cứng (nếu làm tròn xuống). Có thể sử dụng modul Solver trong excel với thuật toán GRG2 tích hợp sẵn để giải bài toán [10]. Các kích thước lẻ được làm tròn đến mm và ≥ 6 ; chiều cao và chiều rộng tấm làm tròn đến dm.

3.2. Một số kết quả tính toán

Với việc áp dụng các công thức đã trình bày và điều kiện giống nhau sử dụng modul Solver trong excel với thuật toán GRG2 tích hợp sẵn để giải bài toán [11] và so sánh phương pháp nhóm tác giả nghiên cứu [12], sau đây là một số kết quả.

Bảng 2. Kết quả tính toán tối ưu theo [11] với tải Q = 5 tấn, Q = 16 tấn, Q = 20 tấn, Q = 32 tấn

Khẩu độ L	Q = 5 tấn					Q = 16 tấn				
	10m	12,5m	16m	20m	25m	10m	12,5m	16m	20m	25m
Chiều rộng B (mm)	170	200	230	270	310	250	290	300	370	410
Chiều cao H (mm)	510	590	700	800	930	770	870	1020	1130	1270
Chiều dày thành bên $t_{1,2}$ (mm)	6	6	6	6	6	6	6	7	7	8
Chiều dày thành trên tt (mm)	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9
Chiều dày thành dưới td (mm)	6	6	6	6	6	6	6	7	7	8
Diện tích tiết diện A_1 (mm ²)	8174	9524	11234	12954	15034	12334	14054	18570	21160	27018
Ứng suất uốn giữa dầm (MPa)	133,84	121,9	111,69	104,09	96,25	189,8	181,34	156,56	148,19	129,51
Ứng suất cắt đầu dầm (MPa)	5,87	5,05	4,25	3,71	3,18	12,66	11,18	8,17	7,37	5,74
Độ võng (mm)	13,22	16,42	20,82	26,73	33,3	12,58	16,74	20	27,13	33,05
Khẩu độ L	Q = 20 tấn					Q = 32 tấn				
	10m	12,5m	16m	20m	25m	10m	12,5m	16m	20m	25m
Chiều rộng B (mm)	290	320	340	370	410	380	550	370	390	480
Chiều cao H (mm)	860	960	1070	1200	1340	980	980	1160	1310	1460
Chiều dày thành bên $t_{1,2}$ (mm)	6	6	7	8	9	6	6	8	9	9
Chiều dày thành trên tt (mm)	7	7	8	9	10	7	7	9	10	10

Chiều dày thành dưới td (mm)	6	6	7	8	9	6	6	8	9	9
Diện tích tiết diện A_1 (mm ²)	13934	15524	19870	25218	31568	16544	18754	24578	30648	35058
Ứng suất uốn giữa dầm (MPa)	185,91	186,8	170,37	151,03	135,2	183,6	178,06	179,24	162,91	153,32
Ứng suất cắt đầu dầm (MPa)	14,27	12,76	9,82	7,66	6,1	17,67	17,666	11,21	8,8218	7,9035
Độ võng (mm)	11,12	15,67	20,98	25,93	32,56	9,812	15,31	20,445	25,587	34,235

Bảng 3. Kết quả tính toán tối ưu nhóm nghiên cứu với tải Q = 5 tấn, Q = 16 tấn, Q = 20 tấn, Q = 32 tấn

Khẩu độ L	Q = 5 tấn					Q = 16 tấn				
	10m	12,5m	16m	20m	25m	10m	12,5m	16m	20m	25m
Chiều rộng B (mm)	140	160	180	210	250	380	350	420	360	340
Chiều cao H (mm)	530	610	720	830	960	720	840	970	1130	1290
Chiều dày thành bên $t_{1,2}$ (mm)	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8
Chiều dày thành trên tt (mm)	6	6	6	6	6	6	7	6	7	8
Chiều dày thành dưới td (mm)	6	6	6	6	6	6	7	6	7	8
Diện tích tiết diện A_1 (mm ²)	7896	9096	10656	12336	14376	13056	14812	16536	20664	25824
Ứng suất uốn giữa dầm (MPa)	147,32	137,3	127,98	117,96	107,1	159,5	158,8	159,2	153	143,9
Ứng suất cắt đầu dầm (MPa)	5,63	4,88	4,12	3,57	3,08	13,54	11,6	10	7,36	5,642
Độ võng (mm)	13,65	17,44	22,57	28,49	35,35	12,19	15,76	22,79	28,43	35,71
Khẩu độ L	Q = 20 tấn					Q = 32 tấn				
	10m	12,5m	16m	20m	25m	10m	12,5m	16m	20m	25m
Chiều rộng B (mm)	430	460	530	407	370	570	700	630	670	480
Chiều cao H (mm)	810	860	970	1189	1300	970	950	980	1140	1440
Chiều dày thành bên $t_{1,2}$ (mm)	6	6	6	7	8	6	6	6	7	9
Chiều dày thành trên tt (mm)	6	7	7	7	12	6	7	11	11	12
Chiều dày thành dưới td (mm)	6	7	7	7	11	6	7	11	11	11
Diện tích tiết diện A_1 (mm ²)	14736	16592	18892	23102	28942	18336	21032	25356	30392	36546
Ứng suất uốn giữa dầm (MPa)	157,46	159,1	156,85	160	148,3	159,3	159,33	158,64	150,04	159,18
Ứng suất cắt đầu dầm (MPa)	15,14	14,28	12,64	8,41	7,1	19,79	20,25	19,79	14,53	8,92
Độ võng (mm)	10,72	15,81	22,71	28,57	35,64	9,14	14,7	22,37	28,53	35,63

Bảng 4. So sánh kết quả giữa hai phương pháp trên

Tỷ lệ (%) A_1/A_2	Khẩu độ L (m)				
	10m	12,5m	16m	20m	25m
Q = 5 tấn	103,52	104,71	105,42	105,01	104,58
Q = 10 tấn	99,59	103,08	104,76	109,81	101,77
Q = 16 tấn	94,47	94,88	112,30	102,40	104,62
Q = 20 tấn	94,56	93,56	105,18	109,16	109,07
Q = 32 tấn	90,23	89,17	96,93	100,84	95,93

4. KẾT LUẬN

Qua các bảng số liệu trên ta thấy, diện tích được tính theo phương pháp tối ưu nhóm tác giả khi sử dụng modul Solver trong excel với thuật toán GRG2 [10,12] tích hợp sẵn để lựa chọn kết cấu cầu trục nhỏ hơn so với diện tích được tính theo [11] diện tích giảm đi khoảng 8 - 10%,

điều này cho thấy khối lượng của cầu trục giảm đi đáng kể nhưng vẫn đảm bảo điều kiện làm việc, điều này sẽ làm giảm khối lượng của kết cấu kim loại đồng nghĩa với việc giảm giá thành của cầu trục.

Tính theo phương pháp kinh nghiệm có nhược điểm, các thông số tính trong một khoảng rất rộng, điều này dễ dẫn đến việc kết cấu thừa nguyên vật liệu, gây lãng phí.

Với việc tính theo phương pháp tối ưu sẽ cho ta kết quả chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Huỳnh Văn Hoàng, Đào Trọng Thường. *Tính toán máy trục*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1975.

[2] TCVN 2737:1995 - Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. NXB Xây dựng, Hà Nội.

[3] TCXD 299:1999 - Chỉ dẫn tính toán thành phần động của tải trọng gió theo TCVN 2737:1995. NXB Xây dựng, Hà Nội 1999.

[4] Nguyễn Trọng Hiệp. *Chi tiết máy*. NXB Giáo dục Việt Nam.

[5] Đào Trọng Thường. *Máy nâng chuyển*.

[6] Huỳnh Văn Hoàng, Trần Thị Hồng, Lê Hồng Sơn. *Kết cấu thép của thiết bị nâng*. NXB Đại học Quốc gia TP HCM.

[7] TCVN 4244:2005 - Thiết bị nâng: Thiết kế chế tạo và kiểm tra kỹ thuật, Hà Nội, 2006.

[8] Verschoof J. - *Cranes - Design, Practice, and Maintenance*, 2nd Ed., Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St Edmunds, UK, 2002

[9] Kolarov I. *Metal structure of material handling machines*, Technica, Sofia

[10] Trịnh Đồng Tính (2011), *Ảnh hưởng của tải trọng tính toán và thông số kết cấu lên kích thước tối ưu của dầm chính cầu trục hai dầm dạng hộp*, báo cáo khoa học nhân dịp 55 năm thành lập Đại học Bách khoa - Hà Nội

[11] Trần Văn Chiến. *Kết cấu thép máy nâng chuyển*. NXB Hải Phòng

[12] Nguyễn Hồng Tiến, 2013. *Thiết kế tối ưu kết cấu thép cầu trục*. Luận văn thạc sĩ khoa học chuyên ngành Cơ học kỹ thuật Đại học Bách khoa - Hà Nội.