

PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG MỘT SỐ PHƯƠNG ÁN GIA CƯỜNG ĐẾN ỨNG SUẤT TRONG NÚT LIÊN KẾT CỦA HỆ KẾT CẤU THÉP NHỊP LỚN

Trương Công Điệp¹, Nguyễn Hoàng Long²

^{1,2}*Viện Khoa học công nghệ xây dựng*

Email: ¹dieptc@gmail.com, 0375869651; ²longnh.ibst@gmail.com, 0976607822

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-11>

TÓM TẮT: Các nút liên kết trong kết cấu thép là vị trí ứng suất phân phối rất phức tạp, việc sử dụng các phương pháp tính toán thông thường không thể hiện được đầy đủ ứng xử tại các vị trí này. Trong hệ kết cấu thép nhịp lớn, việc phân phối ứng suất trong các trường hợp nút liên kết phức tạp gặp nhiều khó khăn cho kỹ sư thiết kế trong việc đề xuất các giải pháp gia cường, để đảm bảo cho nút liên kết làm việc đúng như giả thiết điều kiện biên thiết kế. Do đó, việc nghiên cứu các phương pháp phân tích ứng xử trong các nút liên kết này là vô cùng cần thiết. Bài báo giới thiệu phương pháp Phần tử hữu hạn (Finite Element Method – FEM) và các tiêu chuẩn tính toán của một số tiêu chuẩn trên thế giới, qua đó kỹ sư thiết kế có thể phân tích được ứng xử của liên kết kết cấu thép để đưa ra các phương án thiết kế, gia cường nút liên kết, từ đó đánh giá và phân tích được ưu và nhược điểm của từng phương án.

TỪ KHÓA: Liên kết kết cấu thép, Phân phối ứng suất, Phương pháp Phần tử hữu hạn.

ABSTRACT: The connection in steel structures are the locations with highly complex stress distribution, and the application of conventional calculation methods can not fully describe all the structural behaviors at these points. In long-span steel structural systems, the stress distributions in the complex connection joints cause many problems for the structural design engineers to propose reinforced solutions, that ensuring that the behaviors of those points to perform in accordance with the assumed boundary conditions design. Therefore, the studies of analytical behavior methods in the connection nodes are very necessary. This article introduces the Finite Element Method - FEM and some calculation standards of several countries, thereby the structural design engineers are able to analyze the behaviors of the connection joints in the steel structures in order to propose the design plans and reinforced connection joint solutions. By which, they can evaluate the advantages and limitations of each proposed solutions..

KEYWORDS: Steel structure connection joints, Stress distribution, Finite Element Method.

1. GIỚI THIỆU

Trong kết cấu thép nhịp lớn (nhà công nghiệp, cầu thép, kết cấu mái vòm, sân vận động), nút liên kết là vị trí chịu nội lực phức tạp nhất, xuất hiện tập trung ứng suất, gây mất ổn định cục bộ, là “điểm yếu” quyết định đến khả năng chịu lực tổng thể. Việc gia cường nút nhằm giảm ứng suất tập trung, kiểm soát biến dạng, tăng độ bền mỏi và tuổi thọ công trình. Tuy nhiên, do tính chất phức tạp của nút, việc tính toán gặp nhiều khó khăn và không chính xác.

Nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của một số phương án gia cường (tấm tăng cứng, sườn dọc - ngang, bản chèn, vát mép cấu kiện và tăng tiết diện cục bộ) đến phân bố ứng suất trong nút liên kết.

Mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng để đánh giá các trường hợp gia cường, so sánh hiệu quả gia cường dựa trên các tiêu chí: giảm ứng suất tập trung, cải thiện độ cứng và khả năng chịu lực tổng thể.

Các tiêu chuẩn quốc tế và Việt Nam như EN 1993-1-8 (Eurocode 3), AISC 360-16 và TCVN 5575:2024 có các quy định tính toán nút liên kết, tuy có sự khác nhau về giả thiết, hệ số an toàn nhưng đã đưa ra các phương pháp tính toán, thiết kế và gia cường. Bài báo sử dụng công cụ tính là phần mềm IDEA StatiCa giúp mô phỏng trực quan, kiểm tra theo nhiều tiêu chuẩn và đề xuất giải pháp gia cường.

2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN GIA CƯỜNG NÚT LIÊN KẾT

2.1. Phương pháp tính toán liên kết theo tiêu chuẩn Eurocode, AISC và TCVN

Bảng 1. So sánh nội dung tính toán liên kết theo tiêu chuẩn Eurocode, AISC và TCVN

EN 1993 (Eurocode 3, Part 1-8)	AISC 360-22	TCVN 5575:2024
Phương pháp tính toán		
Phương pháp phần tử (Component Method): chia liên kết thành các thành phần (tấm kéo/nén, sườn cứng, mặt bích, bulong, đường hàn) và kiểm tra riêng từng thành phần	Thiết kế theo ASD hoặc LRFD. Liên kết mô hình theo dạng ứng suất – sức kháng. Mô hình thường đơn giản, dựa trên thí nghiệm và hiệu chỉnh thực nghiệm	Sử dụng mô hình tính toán gần giống EN 1993, nhưng cho phép áp dụng quy tắc đơn giản theo AISC.
Liên kết bulong		
Kiểm tra trượt, cắt, nén, kéo bulông. Tính toán dựa trên phương pháp phần tử	Chia theo bulong làm việc theo 2 loại là gối (bearing type) và chống trượt (slip-critical type)	Tương tự EN 1993
Liên kết hàn		
Kiểm tra đường hàn theo ứng suất danh nghĩa, có xét phân bố ứng suất hàn	Tính toán trên diện tích hàn hiệu quả, công thức đơn giản hóa	Quy định tương tự EN, nhưng hệ số an toàn điều chỉnh cho phù hợp vật liệu thép ở Việt Nam
Nút khung Dầm – Cột		
Dùng phương pháp thành phần để xác định đường cong mô men – quay (M- θ). Phân loại nút: khớp, bán cứng, cứng[2]	Sử dụng bảng tra và công thức thực nghiệm	Hướng dẫn tính toán chi tiết theo EN 1993, nhưng cũng cho phép dùng phương pháp đơn giản kiểu AISC [3]

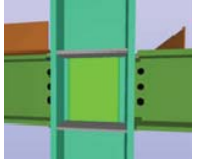
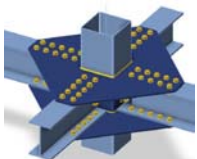
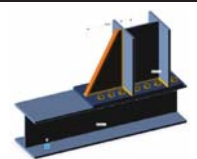
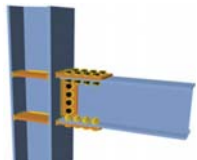
2.2. Phương pháp gia cường liên kết theo Eurocode và AISC

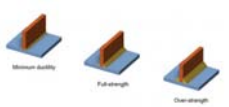
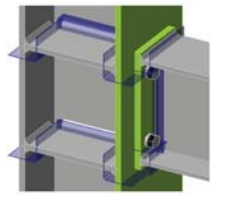
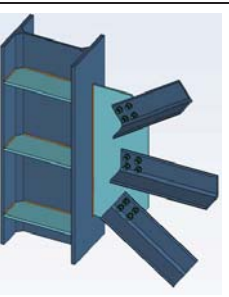
Theo tiêu chuẩn Eurocode, cần xác định thành phần yếu nhất trong liên kết tiến hành gia cường, tăng khả năng chịu lực, tăng độ cứng của liên kết. Gia cường liên kết được quy định chủ yếu ở các Annex A, J, K, L, bằng các giải pháp: sườn tăng cứng (Stiffeners), bản chống bụng cột (continuity plates), bản chống (doubler plates), bản sườn xiên tăng cường tại gối (Haunches), tấm hoặc vòng cứng (Reinforcement plates hoặc ring stiffeners) [4].

Theo tiêu chuẩn AISC, cần xác định dạng phá hoại, kiểm tra theo các trạng thái giới hạn (LRFD)[1], lựa chọn phương án tăng cường khả năng chịu lực của chi tiết yếu nhất. Bu lông: kiểm tra kéo, cắt, ép lõ. Mối hàn: kiểm tra ứng suất cắt, kéo, hàn góc/hàn đối đầu. Bản mã: kiểm tra chảy dẻo, phá hoại cục bộ, uốn. Cánh/bụng dầm, cột: kiểm tra ổn định cục bộ và tổng thể. Khả năng xoay của liên kết: với công trình kháng chấn [6].

Phương án gia cường nút liên kết theo TCVN 5575:2024 cũng tương tự Eurocode, nhưng có một số điều chỉnh phù hợp với điều kiện vật liệu, chế tạo và thi công tại Việt Nam.

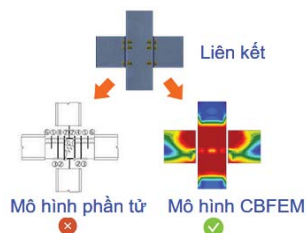
Bảng 2. Một số giải pháp gia cường khuyến nghị theo AISC và Eurocode

Giải pháp gia cường	Mục đích	Trường hợp áp dụng
Bản chống bụng	Tăng diện tích tiết diện hữu hiệu, tăng khả năng chịu uốn và moment truyền qua tấm	Khi tấm bản mỏng hoặc khi cần tăng giới hạn chịu lực mà không thay đổi tiết diện chính
		
Bổ sung tấm ốp cục bộ	Tăng bề dày cục bộ tấm bằng cách bổ sung bản tấp	Khi ứng suất tấm vượt giới hạn
		
Tăng cứng bản cánh	Tăng cứng cục bộ của bản cánh, ngăn mất ổn định cục bộ, tăng độ cứng liên kết	Khi bản cánh có nguy cơ mất ổn định.
		
Bản xiên tăng cường	Tạo vùng truyền moment, giảm góc xoay tại liên kết	Khi cần tăng khả năng chịu moment và độ cứng liên kết.
		
Tăng số bulông / bolt grade	Tăng R _{n, bolt} (shear/tension) hoặc chuyển sang slip-critical để giảm reliance on bearing	Khi bulông không đảm bảo khả năng chịu lực và trong các trường hợp cải tạo
		

Tăng kích thước đường hàn (Weld upgrade)	Tăng diện tích tiết diện mỗi hàn chịu cắt/kéo, tăng khả năng chịu lực của đường hàn	Khi thiết kế bằng phần mềm IDEA StatiCa không đảm bảo khả năng chịu lực
		
Vòng tăng cứng (Ring stiffeners / internal reinforcement)	Tạo ống gia cường bao quanh tiết diện ống.	Khi thiết kế tiết diện ống, chiều dày tiết diện nhỏ.
		
Phương pháp hình học giảm mỏi (fatigue detailing)	Giảm hệ số tập trung ứng suất, cải thiện khả năng chịu mỏi	Các chi tiết chịu tải lặp
		
Tổ hợp (combination)	Kết hợp nhiều giải pháp: tăng diện tích tiếp xúc, tăng độ cứng, giảm ứng suất tập trung	Nút chịu đồng thời nhiều lực hoặc cấu tạo phức tạp
		

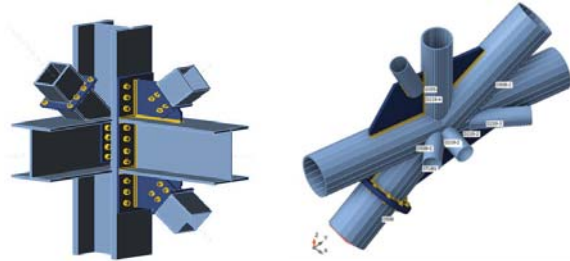
2.4. Phương pháp mô phỏng và tính toán bằng phần mềm phân tích IDEA StatiCa

Phần mềm IDEA StatiCa sử dụng phương pháp CBFEM, đây là sự kết hợp giữa phương pháp phân tích từng phần tử và phương pháp phần tử hữu hạn, phản ánh ứng xử tổng thể của các phần tử trong nút liên kết.



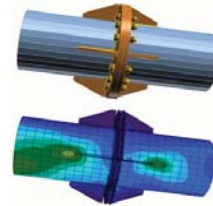
Hình 1: Mô hình phân tích theo phần tử và CBFEM

Khi thiết kế bằng phần mềm IDEA StatiCa theo tiêu chuẩn EN 1993, kiểm tra từng thành phần. Phân tích theo tiêu chuẩn AISC: trích xuất nội lực của bulong, cường độ phản từ để so với trạng thái giới hạn.

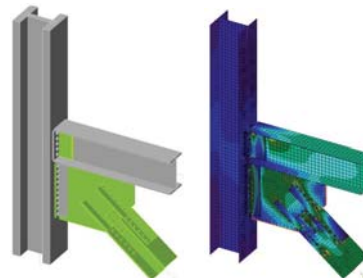


Hình 2: Ví dụ nút liên kết được mô phỏng bằng phần mềm IDEA StatiCa

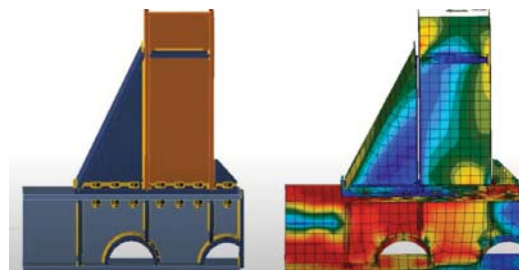
Phần mềm IDEA Statica có các công cụ mô phỏng hình học, vật liệu, nội lực và tính toán theo các tiêu chuẩn khác nhau, do đó có thể sử dụng là công cụ kiểm tra liên kết và các phương án gia cường. Dưới đây là một số công cụ và kết quả gia cường.



Hình 3: Bổ sung liên kết bulông/hàn: tăng độ cứng, phân phối đều nội lực



Hình 4: Sườn tăng cứng: sau khi phân tích, kiểm soát biến dạng cục bộ, phân bố lại ứng suất



Hình 5: Bổ sung bản dẹt và sườn sau khi phân tích, cải thiện truyền lực từ dầm và cột

2.5. Tiêu chí đánh giá hiệu quả gia cường

Các tiêu chí đánh giá hiệu quả gia cường chung của 3 tiêu chuẩn AISC, EN 1993 và TCVN5575:2024 như:

Giảm ứng suất tập trung: ứng suất trong vùng nút $\leq$ (giới hạn chảy của thép / hệ số an toàn (theo tiêu chuẩn)).

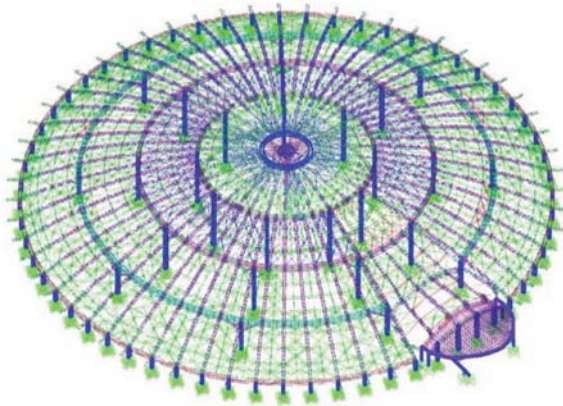
Độ cứng và biến dạng: giảm độ xoay nút, đảm bảo độ võng hệ kết cấu trong giới hạn cho phép (EN 1993, AISC).

Ổn định cục bộ: tránh hiện tượng oằn cục bộ bản nút, mất ổn định ngoài mặt phẳng.

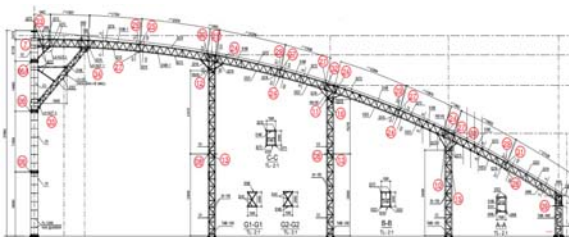
Kinh tế – thi công: dễ chế tạo, lắp dựng, chi phí hợp lý, dễ bảo dưỡng.

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ GIA CƯỜNG VỚI MỘT SỐ VÍ DỤ NÚT LIÊN KẾT

Nội dung bài nghiên cứu tập trung phân tích công trình thực tế có nhịp kết cấu lớn, nút liên kết phức tạp để nổi bật giải pháp gia cường. Ví dụ tính toán là các nút liên kết phức tạp về cấu tạo, nội lực và điển hình.



Hình 6: Mô hình tổng thể công trình ví dụ tính toán

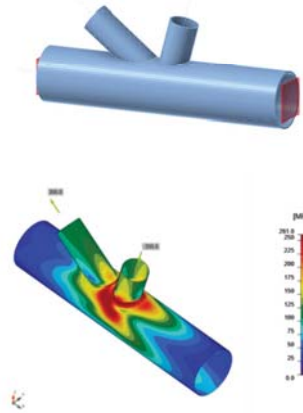


Hình 7: Mặt cắt khung công trình ví dụ tính toán

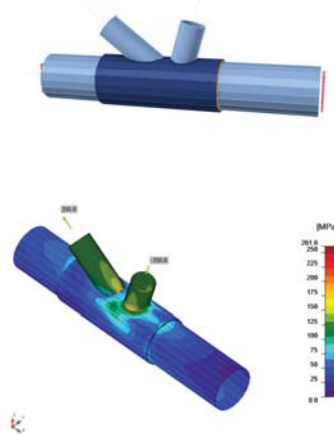
Dưới đây là kết quả phân tích nút liên kết và biểu đồ kết quả giải pháp cường:

Liên kết LK01, 02 – Nút liên kết thanh cánh dưới, trên giàn điển hình: sử dụng giải pháp ống

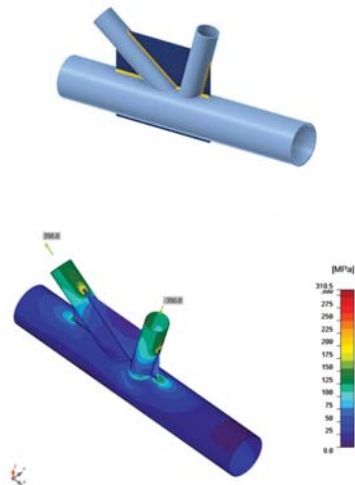
lồng và và xẻ ống để bổ sung sườn cứng, ứng suất cấu kiện và đường hàn giảm, cải thiện ổn định tổng thể so với phương án không gia cường.



Hình 8: Mô hình LK01 - Không gia cường

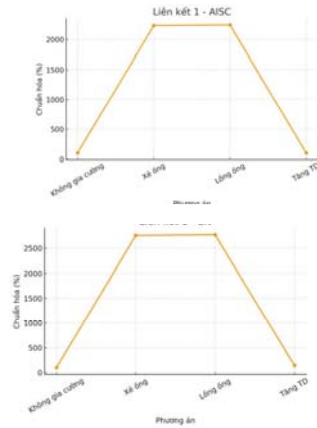


Hình 9: Mô hình LK01 - Gia cường lồng ống



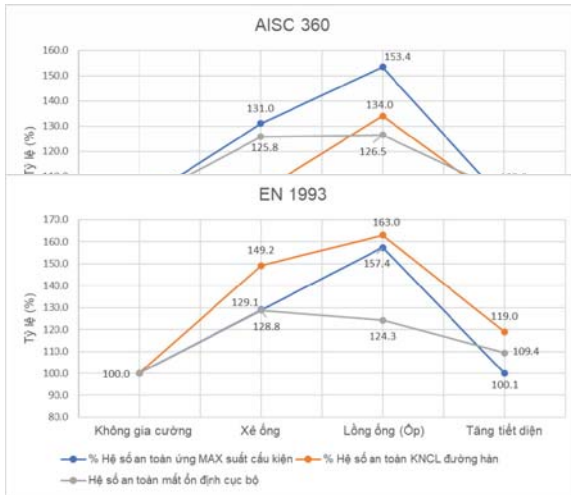
Hình 10: Mô hình LK01 - Gia cường xẻ ống

chuẩn EN 1993 cho ra kết quả thấp hơn so với tiêu chuẩn AISC 360.



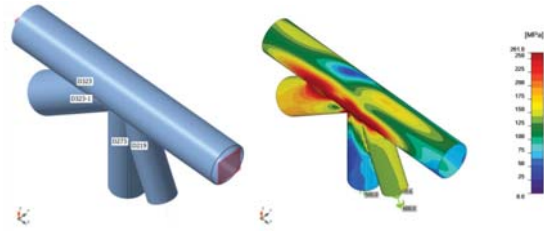
Hình 11: Biểu đồ so sánh độ cứng dọc trục giữa các phương án gia cường LK01 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Từ biểu đồ cho thấy độ cứng dọc trục của liên kết tăng đáng kể khi áp dụng các biện pháp gia cường như lồng ống (bản ốp) và xẻ ống để thêm sườn cứng, phương án gia cường bằng cách tăng tiết diện thanh chính không có hiệu quả. Cả hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 đều cho ra kết quả khá tương đồng với nhau.

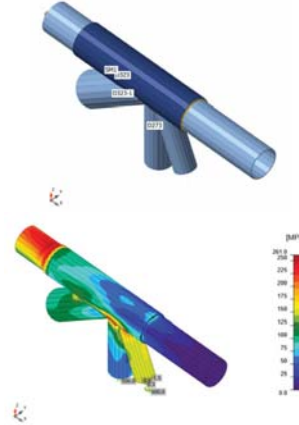


Hình 13: Biểu đồ so sánh các tiêu chí đánh giá khác giữa các phương án gia cường LK01 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

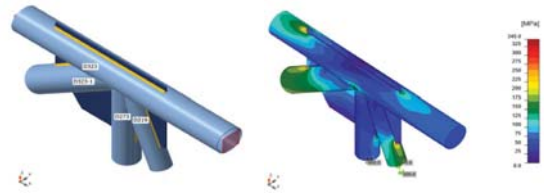
Các phương án gia cường như lồng ống (bản ốp) hay xẻ ống thêm sườn tăng cứng đều mang lại hiệu quả trong việc giảm ứng suất cục bộ trong cấu kiện, ứng suất trong đường hàn và tăng khả năng ổn định cục bộ, phương án tăng tiết diện thanh chính không mang lại hiệu quả cao. Hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 cho ra kết quả khá tương đồng ở hai tiêu chí ứng suất cục bộ cấu kiện và ổn định cục bộ, riêng với ứng suất đường hàn tiêu



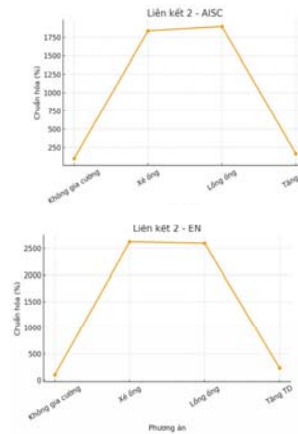
Hình 14: Mô hình LK02 – Không gia cường



Hình 15: Mô hình LK02 - Gia cường lồng ống

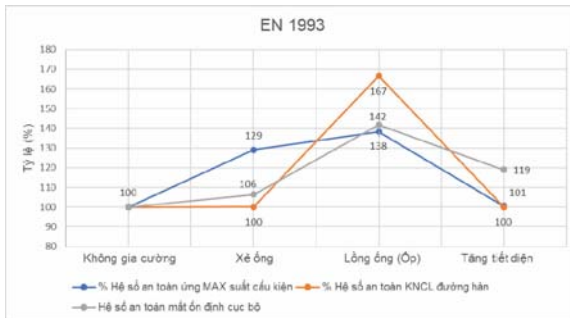
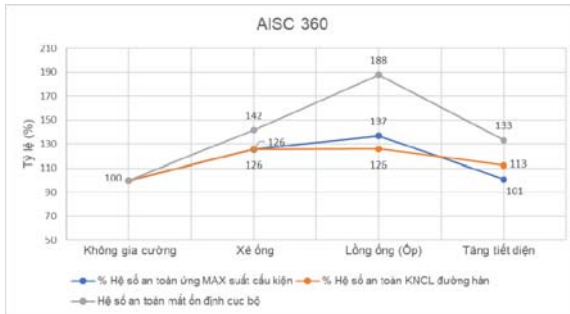


Hình 16: Mô hình LK02 - Gia cường xẻ ống



Hình 17: Biểu đồ so sánh độ cứng dọc trục giữa các phương án gia cường LK02 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

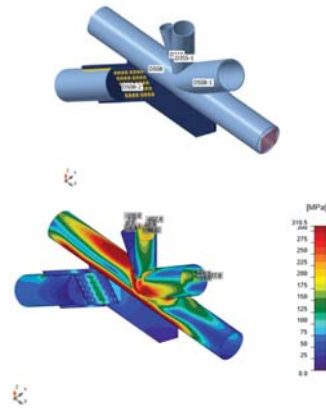
Từ biểu đồ cho thấy độ cứng dọc trục của liên kết tăng đáng kể khi áp dụng các biện pháp gia cường như lồng ống (bản ốp) và xẻ ống để thêm sườn cứng, phương án gia cường bằng cách tăng tiết diện thanh chính không có hiệu quả. Cả hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 đều cho ra kết quả khá tương đồng với nhau.



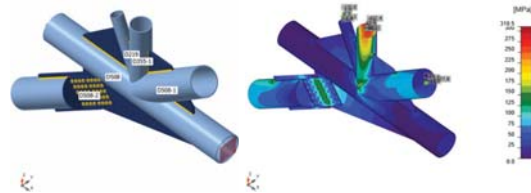
Hình 19: Biểu đồ so sánh các tiêu chí đánh giá giữa các phương án gia cường LK02 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Các phương án gia cường như lồng ống (bản ốp) hay xẻ ống thêm sườn tăng cứng đều mang lại hiệu quả trong việc giảm ứng suất cục bộ trong cấu kiện, ứng suất trong đường hàn và tăng khả năng ổn định cục bộ, phương án tăng tiết diện thanh chính không mang lại hiệu quả cao. Hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 cho ra kết quả khá tương đồng ở tiêu chí ứng suất cục bộ cấu kiện, riêng với hai tiêu chí ứng suất trong đường hàn và ổn định cục bộ tiêu chuẩn EN 1993 cho ra kết quả tốt hơn so với tiêu chuẩn AISC 360

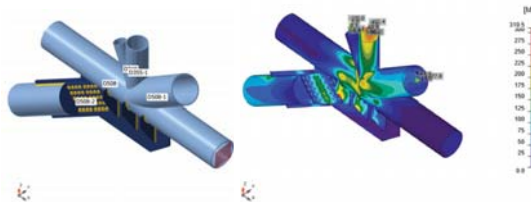
Liên kết LK03 – Nút liên kết chống giàn điển hình: sử dụng giải pháp xẻ ống (bổ sung sườn) và giải pháp bổ sung, mở rộng bản mã, ứng suất cấu kiện, khả năng chịu lực của bulong, đường hàn giảm, đồng thời cải thiện ổn định tổng thể so với phương án không gia cường.



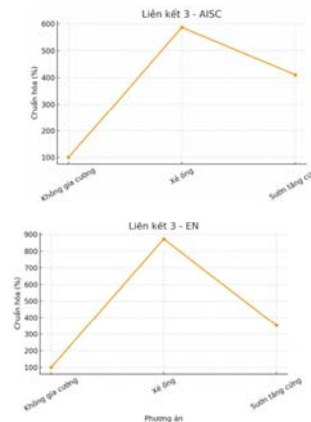
Hình 20: Mô hình LK03 - Không gia cường



Hình 21: Mô hình LK03 - Gia cường xẻ ống



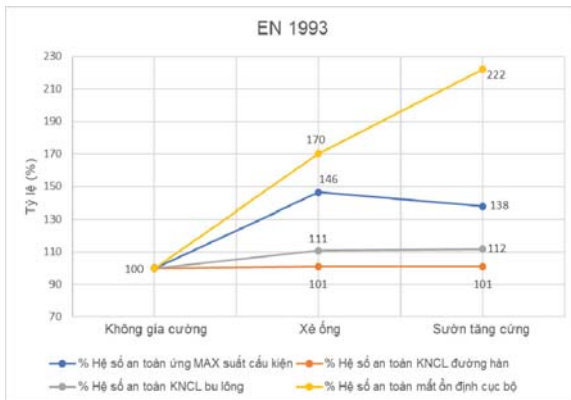
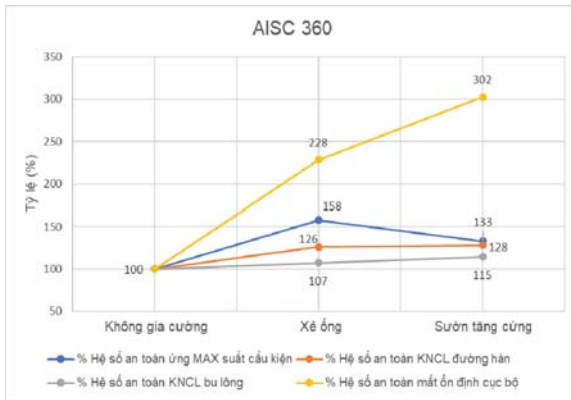
Hình 22: Mô hình LK03 - Gia cường sườn cứng



Hình 23: Biểu đồ so sánh độ cứng dọc trục giữa các phương án gia cường LK03 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Từ biểu đồ cho thấy độ cứng dọc trục của liên kết tăng đáng kể khi áp dụng các biện pháp gia cường như xẻ ống thêm sườn cứng phương dọc hoặc gia cường thêm sườn cứng theo phương ngang. Cả hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

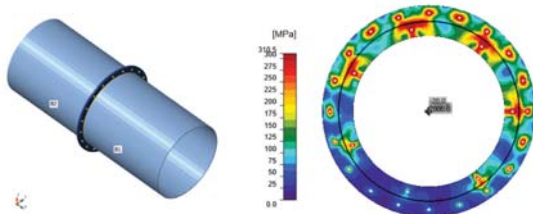
đều cho ra kết quả với xu hướng khá tương đồng với nhau.



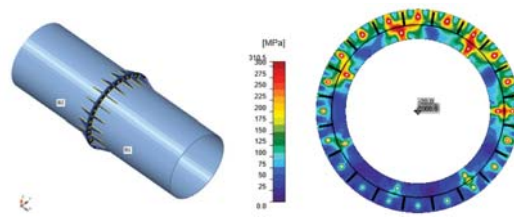
Hình 24: Biểu đồ so sánh các tiêu chí đánh giá giữa các phương án gia cường LK03 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Các phương án gia cường thêm sườn cứng phương dọc hoặc sườn cứng phương ngang mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm ứng suất cho đường hàn và ứng suất cục bộ cho cấu kiện.

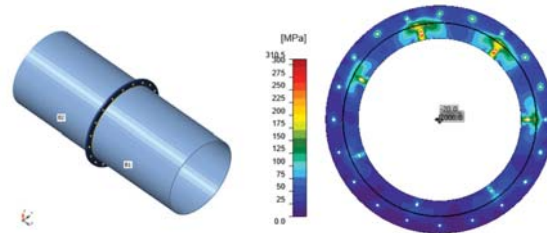
Liên kết LK04 - Nút liên kết nối cột tròn điển hình: sử dụng các giải pháp bổ sung sườn cứng đều theo chu vi cột, tăng chiều dày bản mã, tăng số lượng bu lông và gia cường kết hợp (đồng thời bổ sung sườn, tăng chiều dày bản mã và tăng số lượng bu lông), ứng suất cấu kiện, khả năng chịu lực của bulong, đường hàn giảm, đồng thời cải thiện ổn định tổng thể so với phương án không gia cường.



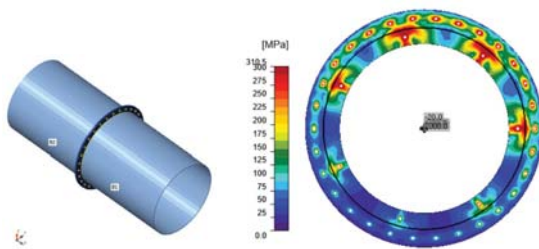
Hình 25: Mô hình LK04 – Không gia cường



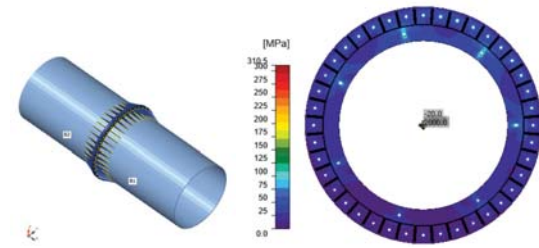
Hình 26: Mô hình LK04 - Bổ sung sườn cứng



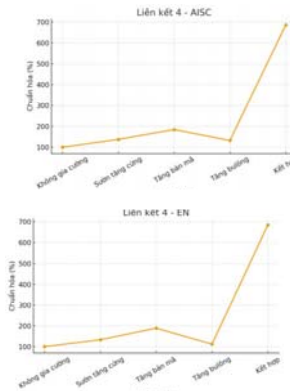
Hình 27: Mô hình LK04 - Tăng chiều dày bản mã



Hình 28: Mô hình LK04 - Tăng số lượng bu lông

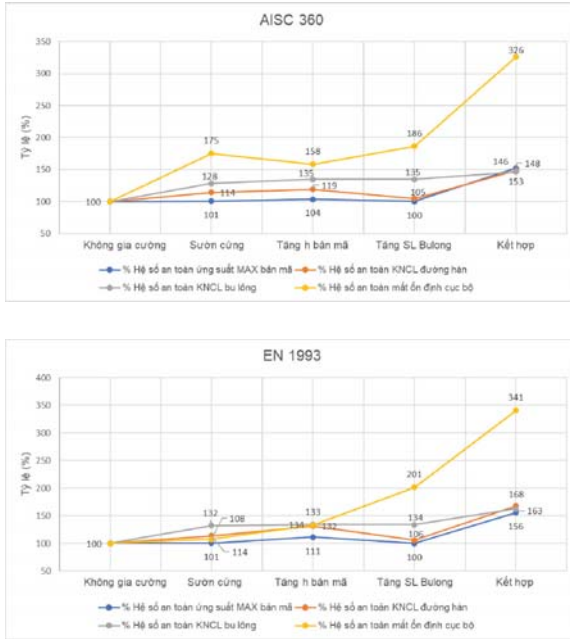


Hình 29: Mô hình LK04 - Gia cường kết hợp



Hình 30: Biểu đồ so sánh độ cứng xoay giữa các phương án gia cường LK04 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

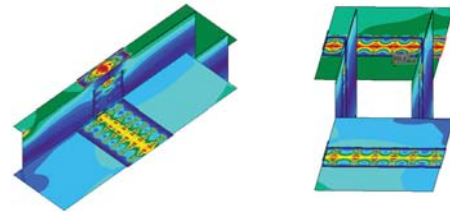
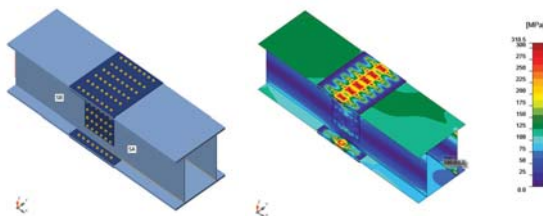
Từ biểu đồ cho thấy độ cứng của liên kết tăng khi áp dụng các biện pháp gia cường như thêm sườn tăng cứng, tăng chiều dày bản mã hoặc tăng số lượng bu lông. Kết hợp các phương án gia cường mang lại hiệu quả cao trong việc tăng độ cứng của liên kết. Cả hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 đều cho ra kết quả với xu hướng tương đồng với nhau.



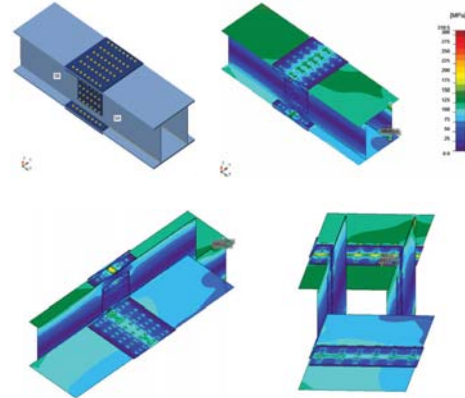
Hình 31: Biểu đồ so sánh các tiêu chí đánh giá giữa các phương án gia cường LK04 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Các phương án gia cường riêng lẻ không mang lại hiệu quả cao trong việc giảm ứng suất cục bộ trong bản mã và đường hàn, khả năng chịu lực của bu lông, để tối ưu cần kết hợp các phương án gia cường với nhau.

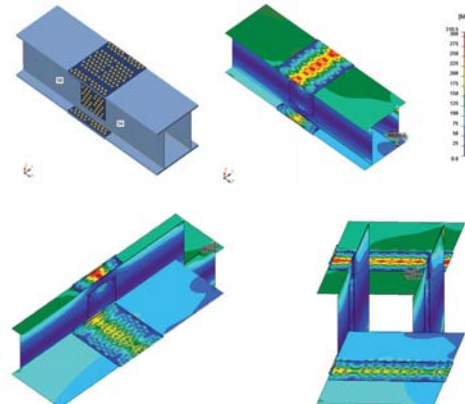
Liên kết LK05 - Nút liên kết nối cột thép hình điển hình: sử dụng các giải pháp tăng chiều dày bản mã, tăng số lượng bu lông và gia cường kết hợp (đồng thời tăng chiều dày bản mã và tăng số lượng bu lông), ứng suất cấu kiện, khả năng chịu lực của bulong, đường hàn giảm, đồng thời cải thiện ổn định tổng thể so với phương án không gia cường.



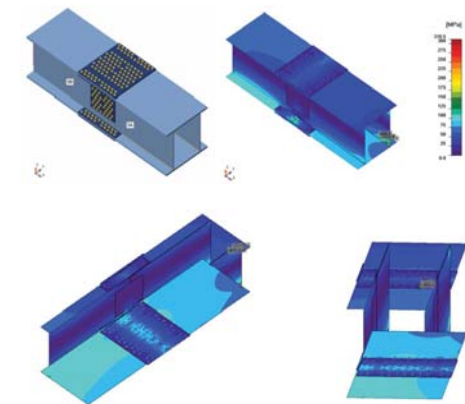
Hình 32: Mô hình LK05 – Không gia cường



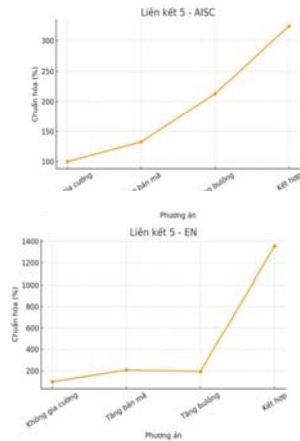
Hình 33: Mô hình LK05 - Tăng chiều dày bản mã



Hình 34: Mô hình LK05 - Tăng số lượng bu lông

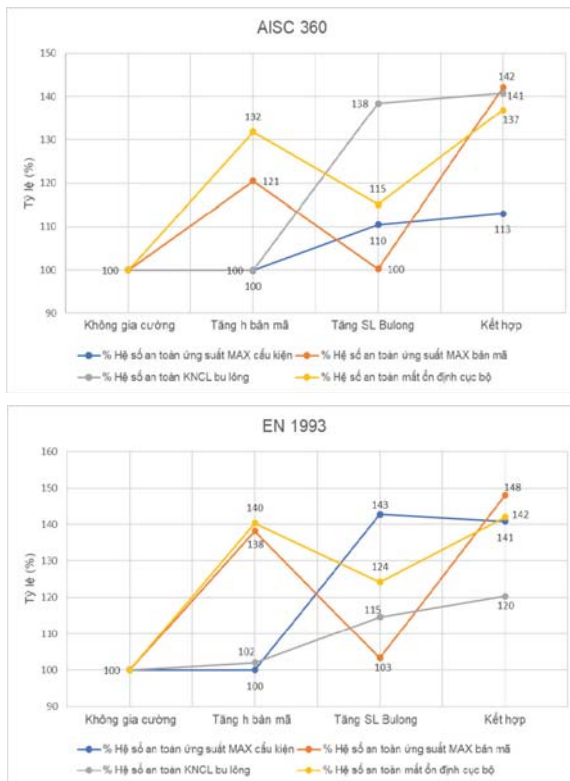


Hình 35: Mô hình LK05 - Kết hợp gia cường tăng chiều dày bản mã và số lượng bu lông



Hình 36: Biểu đồ so sánh độ cứng xoay giữa các phương án gia cường LK05 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Từ biểu đồ cho thấy độ cứng của liên kết tăng khi áp dụng các biện pháp gia cường như tăng chiều dày bản mã hoặc tăng số lượng bulong. Kết hợp các phương án gia cường mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc tăng độ cứng của liên kết. Cả hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 đều cho ra kết quả với xu hướng tương đồng với nhau.



Hình 37: Biểu đồ so sánh các tiêu chí đánh giá giữa các phương án gia cường LK05 theo tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993

Phương án gia cường tăng chiều dày bản mã mang lại hiệu quả cao trong việc giảm ứng suất trong bản mã và đường hàn, phương án gia cường tăng số lượng bu lông lại hiệu quả trong việc giảm ứng suất cục bộ trong cấu kiện chính và khả năng chịu lực của bu lông. Chính vì vậy kết hợp các phương án gia cường với nhau mang lại kết quả tối ưu nhất.

4. KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ

Nút liên kết trong kết cấu nhịp lớn có nguy cơ tập trung ứng suất cao, cần được gia cường hợp lý.

Qua các biểu đồ so sánh các tiêu chí đánh giá theo tiêu chuẩn cho thấy cùng kiểu gia cường giống nhau, dù có sự khác biệt về giá trị ứng suất trong cấu kiện, đường hàn và bulong khi tính toán theo hai tiêu chuẩn AISC 360 và EN 1993 nhưng xu hướng tăng hoặc giảm thì đều giống như nhau.

Các phương pháp gia cường phổ biến, dễ thực hiện và có hiệu quả rõ ràng qua bài tính nút liên kết như: xê ống, bổ sung sườn cứng, lòng ống (tăng tiết diện cục bộ), có thể lựa chọn một hoặc tổ hợp các giải pháp gia cường. Tuy nhiên, cần tính toán để đánh giá các thông số như ứng suất, khả năng chịu lực bulong, đường hàn và các điều kiện ổn định trước khi gia cường.

Phương án gia cường bằng sườn tăng cứng cho thấy hiệu quả cao nhất trong việc giảm ứng suất tập trung của cấu kiện trong nút, ứng suất trong đường hàn và bulong. Phương án ống lồng (bản ốp) cần được xem xét thận trọng do khó kiểm soát sự làm việc qua tiếp xúc bề mặt giữa 2 ống.

Sử dụng phần mềm IDEA StatiCa cho phép so sánh trực quan biểu đồ ứng suất trước – sau gia cường, hỗ trợ việc lựa chọn giải pháp tối ưu. Gia cường nút liên kết là giải pháp quan trọng để đảm bảo an toàn và hiệu quả kinh tế trong công trình thép nhịp lớn. Việc kết hợp giữa tính toán theo tiêu chuẩn (Eurocode, AISC, TCVN) và mô phỏng bằng IDEA StatiCa giúp đánh giá khách quan và lựa chọn phương án tối ưu.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở tham khảo cho thiết kế và cải tạo công trình thép nhịp lớn tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] AISC 360:22: Specification for Structural Steel Buildings.
- [2] EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures.
- [3] TCVN 5575-2024 Thiết kế Kết cấu Thép.
- [4] BS NA EN 1993-1-8: UK National Annex to Eurocode 3. Design of steel structures. Design of joints.