

Ảnh hưởng của phi tuyến hình học tới ứng xử của kết cấu vỏ mỏng giao nhau

Influence of geometric nonlinearity on the behavior of thin shell intersection

S.B. Kositsyn^a, Trần Xuân Linh^{b,c*}
S.B. Kositsyn^a, Xuan Linh Tran^{b,c*}

^aKhoa Xây dựng, Đại học Giao thông Đường sắt Moscow, LB Nga

^bViện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^cKhoa Xây dựng, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^aFaculty of Civil Engineering, Moscow State University of Railway Engineering, Russia

^bInstitute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

^cFaculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

(Ngày nhận bài: 10/7/2020, ngày phản biện xong: 20/7/2020, ngày chấp nhận đăng: 27/8/2020)

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu một số kết quả tính toán và phân tích trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu vỏ mỏng giao nhau hình chữ T dưới tác dụng của áp lực bên trong. Đồng thời, ảnh hưởng của tính chất phi tuyến hình học lên trạng thái ứng xử của kết cấu giao nhau cũng được phân tích và đánh giá.

Từ khóa: phi tuyến hình học, trạng thái ứng suất biến dạng, vỏ hình trụ giao nhau, phương pháp phần tử hữu hạn

Abstract

This paper presents some results of calculation and analysis of stress-strain states of cylindrical shell intersection under increasing internal pressure loading. The influence of geometric nonlinearity on the behavior of thin shell intersection is analyzed and evaluated.

Keywords: geometric nonlinearity, stress-strain states, cylindrical shell intersection, finite element method.

1. Giới thiệu

Một trong những xu hướng của cơ học kết cấu hiện đại đó là hiểu được và phân tích trạng thái ứng suất biến dạng, qua đó dự đoán ứng xử của các kết cấu không gian có cấu tạo hình học phức tạp. Các kết cấu này có thể có hình dạng hình học phức tạp hoặc được tạo thành từ những chi tiết đơn giản hơn. Hiện nay, các kết cấu vỏ mỏng giao nhau vẫn thu hút được sự

quan tâm lớn của các kỹ sư và các nhà khoa học. Đây là một loại kết cấu phổ biến trong các hệ thống cấp thoát nước, hệ thống ống dẫn dầu và khí gas, các bình áp suất, hệ thống hầm giao thông ngầm... Đối với các công trình này không thể dùng sơ đồ phẳng mà bắt buộc phải dùng sơ đồ tính toán không gian. Một trong các đặc điểm cơ bản của các kết cấu này đó là hiện tượng tập trung ứng suất xuất hiện tại vùng giao

*Corresponding Author: Xuan Linh Tran; Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam; Faculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam.
Email: xlinhtran@gmail.com

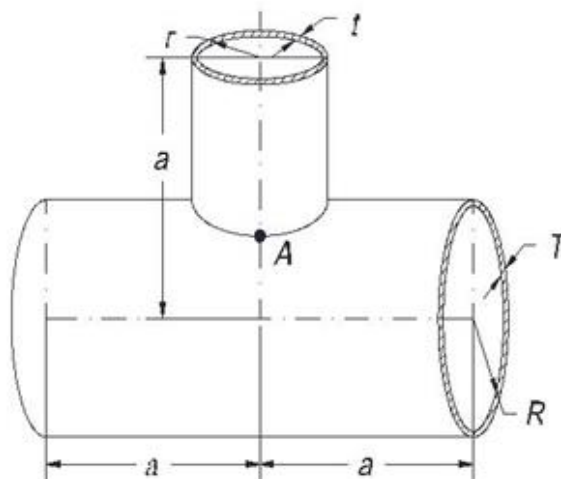
nhau giữa các vỏ dưới các điều kiện tải trọng khác nhau. Ngoài ra, do tính chất phức tạp của nút giao nhau, đây là vị trí yếu nhất và dễ xuất hiện các dấu hiệu phá hủy cục bộ cũng như ảnh hưởng tới toàn hệ thống. Việc dự đoán được ứng xử của kết cấu giao nhau giúp cho các kỹ sư có thể đánh giá hệ số an toàn, tiết kiệm vật liệu và nâng cao độ tin cậy của công trình.

Có thể kể đến một số nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về kết cấu vỏ mỏng giao nhau như trong các công bố trước đó [1-5]. Một phương pháp khác cũng được dùng khá nhiều trong tính toán các kết cấu vỏ giao nhau đó là phương pháp phần tử hữu hạn [6-10]. Các nghiên cứu này chủ yếu phân tích và dự báo tải trọng tới hạn của các nút giao nhau dưới các điều kiện ngoại lực khác nhau. Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố phi tuyến hình học lên trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu vỏ mỏng hình trụ tròn giao nhau dưới tác dụng của áp lực bên trong vỏ.

Các phần tiếp theo của bài báo được bố trí như sau: phần 2 trình bày mô tả sơ đồ tính toán và phân tích đánh giá kết quả tính toán; phần cuối của bài báo nêu ra một số kết luận và kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo của đề tài.

Bảng 1. Các thông số hình học của kết cấu vỏ giao nhau hình chữ T

Chiều dài đoạn cắt (a , m)	Bán kính ống lớn (R , m)	Bán kính ống nhỏ (r , m)	Độ dày ống lớn (T , m)	Độ dày ống nhỏ (t , m)
2.200	1.000	0.700	0.020	0.014



Hình 1. Cấu tạo hình học vỏ giao nhau hình chữ T

2. Tính toán và phân tích trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu vỏ mỏng giao nhau hình chữ T

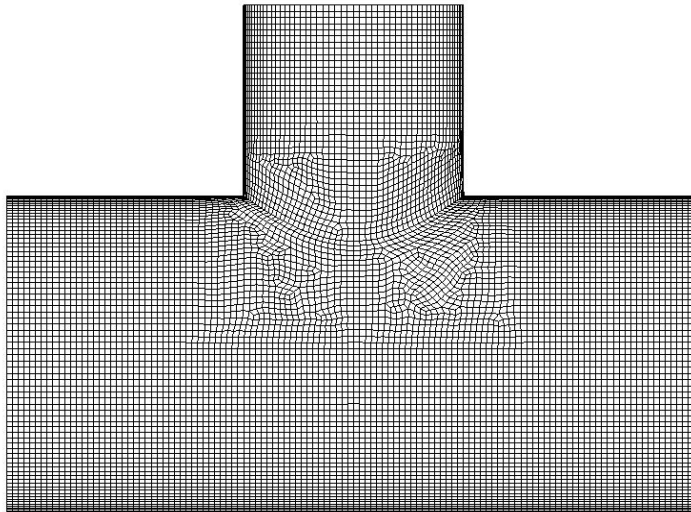
Xét vùng giao nhau hình chữ T từ hai ống mỏng hình trụ tròn bằng thép (Hình 1). Các thông số hình học của các vỏ được mô tả trong Hình 1 và Bảng 1. Chiều dài mỗi ống lớn hơn nhiều so với đường kính ống, do đó, để mô phỏng nút giao nhau giả sử cắt một đoạn kích thước $(2a \times a)$ (Hình 1). Kích thước này được chọn dựa trên điều kiện tắt dần hiện tượng tập trung ứng suất theo nguyên lý Saint-Venant [11] và các tính toán thử nghiệm bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Trong trường hợp này được lấy bằng $a = 2.2$ m.

Điều kiện biên khi mô hình hóa được đảm bảo bằng cách giả sử chuyển vị theo phương dọc trục của các ống tương ứng bằng không tại vị trí đầu mặt cắt của các ống. Ngoài ra, cần đặt thêm các điều kiện biên cần thiết khác để đảm bảo mô hình bất biến hình hình học mà không làm ảnh hưởng tới trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu.

Hệ vỏ giao nhau được chế tạo từ thép CT3 có mô đun đàn hồi $E = 2 \cdot 10^{11}$ Pa, hệ số Poisson $\mu = 0.3$. Xét trường hợp vỏ chịu áp lực đều bên trong tăng dần từ 0 tới $q_{\max} = 15$ MPa. Kết cấu vỏ giao nhau được tính theo phương pháp phần tử hữu hạn [12] bằng phần mềm Nastran. Lưới phần tử được dựng từ các phần tử phẳng bốn nút với 6 bậc tự do tại mỗi nút dựa trên lý thuyết Kirchhoff–Love. Kích thước phần tử được chọn bằng 0.04×0.04 m trên cơ sở các kết quả tính toán thử nghiệm mô hình với các lưới có độ mịn khác nhau. Đối với các phần tử có kích thước nhỏ hơn (lưới phần tử hữu hạn mịn hơn) không ảnh hưởng nhiều tới trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu. Ngoài ra, nhằm mục

đích tối ưu hóa việc chia lưới, các phần tử từ các đầu ống đến vị trí $0.55a$ là các phần tử hình vuông. Các phần tử còn lại ở vị trí giao nhau của vỏ là các phần tử tứ giác (hình 2). Tổng số phần tử trong mô hình là 21 697 phần tử với 32 132 nút.

Mục đích của bài báo này nhằm đánh giá ảnh hưởng của yếu tố phi tuyến hình học tới trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu vỏ mỏng giao nhau. Do đó, phần tiếp theo tiến hành phân tích và đánh giá trạng thái ứng xử của kết cấu vỏ mỏng giao nhau hình chữ T trong hai trường hợp tuyến tính và phi tuyến hình học. Trong cả hai trường hợp, giả sử vật liệu ứng xử đàn hồi tuyến tính.

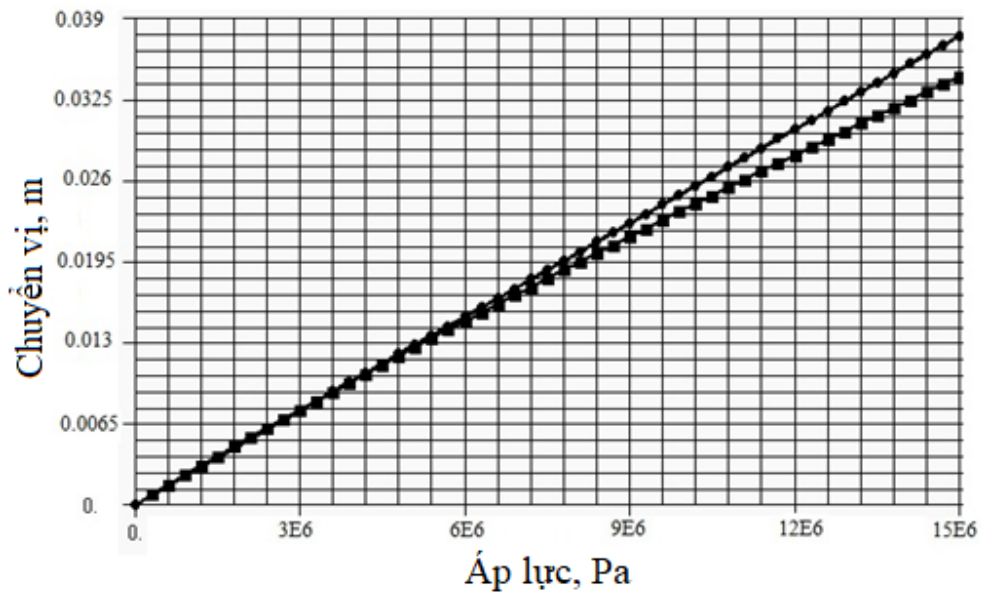


Hình 2. Mô hình lưới phần tử hữu hạn của kết cấu vỏ giao nhau

Một số kết quả tính toán chính của cả hai mô hình thể hiện trên các hình vẽ 3-5. Đồ thị mối liên hệ giữa chuyển vị toàn phần w tại vị trí có chuyển vị lớn nhất (điểm A, Hình 1) và áp lực phân bố đều bên trong các vỏ $0 \leq q \leq 15$ MPa trong trường hợp tuyến tính hình học và phi tuyến hình học được biểu diễn trên Hình 3. Dựa vào đồ thị ta thấy, khi tải trọng tăng dần từ 0 đến 3 MPa cả hai đường đồ thị gần như trùng nhau.

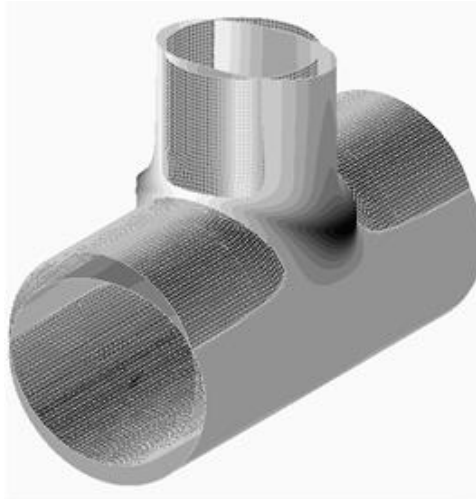
Ảnh hưởng của yếu tố phi tuyến hình học bắt đầu thể hiện khi tăng dần áp lực từ 3 MPa trở lên. Hai đường đồ thị bắt đầu tách rời nhau,

đồ thị trong trường hợp phi tuyến hình học lúc này trở thành đường cong. Hiệu ứng thể hiện rõ rệt nhất khi chuyển vị tại điểm A lớn gấp 1.5 - 2 lần độ dày của vỏ (Hình 3&4). Đồng thời, ứng suất tương đương lớn nhất lớn hơn nhiều so với giới hạn chảy và phá hủy của vật liệu (~245 MPa và ~357 MPa) (Hình 5). Điều này khó xảy ra trên thực tế. Do đó, để đánh giá chính xác hơn ứng xử của vỏ dưới áp lực cao, ngoài phi tuyến hình học còn cần xét đến phi tuyến vật lý của vật liệu. Ngoài ra, Hình 5 cho thấy rõ vùng tập trung ứng suất ở vị trí giao nhau các vỏ. Chính tại các vị trí này cần có các biện pháp gia cố trên thực tế.

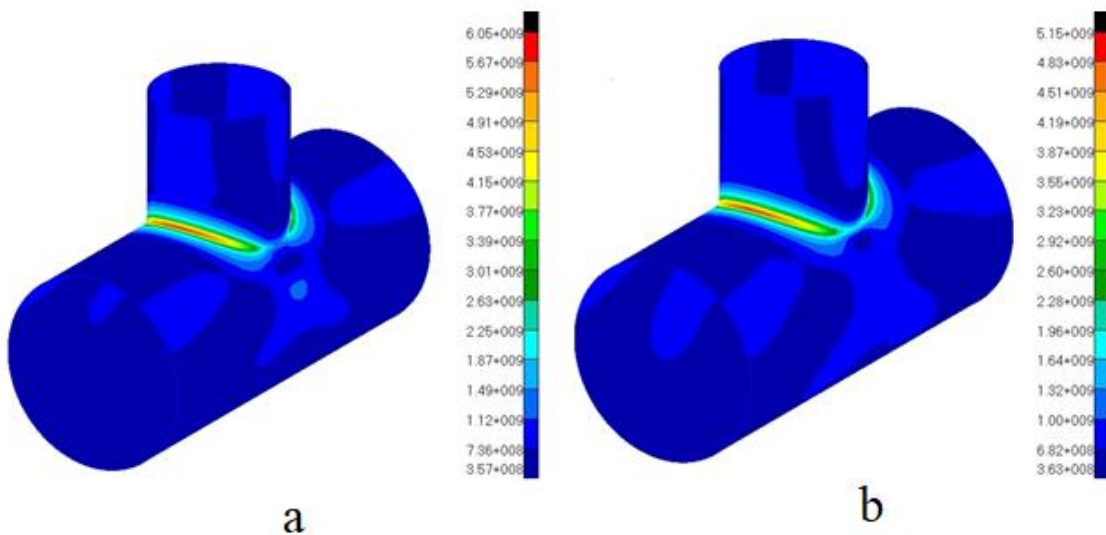


Hình 3. Biểu đồ mối quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng:

—◆— tuyến tính hình học; —■— phi tuyến hình học.



Hình 4. Biến dạng của vỏ giao nhau



Hình 5. Trường ứng suất tương đương: a) tuyến tính hình học; b) phi tuyến hình học

3. Kết luận và hướng mở rộng nghiên cứu

- Ảnh hưởng của phi tuyến hình học lên trạng thái ứng suất biến dạng của vỏ giao nhau thể hiện rõ khi chuyển vị lớn gấp 1.5 - 2 lần độ dày của vỏ.

- Trong tính toán cần tính kết cấu vỏ giao nhau chịu áp lực tương đối lớn cần xét đến đồng thời cả phi tuyến hình học và phi tuyến vật lý.

- Để hạn chế hiện tượng tập trung ứng suất tại vùng giao nhau có thể áp dụng các biện pháp gia cường để tăng khả năng chịu lực.

- Hướng mở rộng của đề tài trong các nghiên cứu tiếp theo: kết hợp đồng thời phi tuyến hình học và các mô hình biểu đồ biến dạng khác nhau của vật liệu khi tính toán kết cấu vỏ giao nhau hình chữ T.

Tài liệu tham khảo

- [1] F. Ellyin, "Limit pressure of nozzles in cylindrical shells," 1972.
- [2] J. Schroder, K. Srinivasaiah, and P. J. W. B. Graham, "Analysis of test data on branch connections exposed to internal pressure and/or external couple," no. 200, 1974.
- [3] M. Robinson and S. J. I. J. o. M. S. Gill, "A lower bound to the limit pressure of a flush oblique cylindrical branch in a spherical pressure vessel," vol. 14, no. 9, pp. 579-601, 1972.
- [4] J. Schroeder, "Limit and burst pressures of fabricated branch connections," 1982.
- [5] M. Bozkurt, D. Nash, and A. Uzzaman, "Investigation of the stresses and interaction effects of nozzle-cylinder intersections when subject to multiple external loads," in *Pressure Vessels and Piping Conference*, 2019, vol. 58943, p. V003T03A028: American Society of Mechanical Engineers.
- [6] E. Berak and J. Gerdeen, "A finite element technique for limit analysis of structures," 1990.
- [7] Z. a. e. Sang, L. Xue, Y. Lin, G. J. I. j. o. p. v. Widera, and piping, "Limit and burst pressures for a cylindrical shell intersection with intermediate diameter ratio," vol. 79, no. 5, pp. 341-349, 2002.
- [8] W. Nielsen and A. J. S. E. A. C. Junker, SEAC-TR-249, "Finite element analysis of the limit load of a nozzle in a cylindrical vessel due to internal pressure including large deflection results," 1982.
- [9] F.-Z. Xuan, P.-N. J. N. e. Li, and design, "Finite element-based limit load of piping branch junctions under combined loadings," vol. 231, no. 2, pp. 141-150, 2004.
- [10] Y.-J. Kim *et al.*, "Finite element based plastic limit loads for cylinders with part-through surface cracks under combined loading," vol. 80, no. 7-8, pp. 527-540, 2003.
- [11] M. H. Sadd, *Elasticity: theory, applications, and numerics*. Academic Press, 2009.
- [12] O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor, *The finite element method for solid and structural mechanics*. Elsevier, 2005.