

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GÂN TĂNG CỨNG ĐẾN TÍNH NĂNG HẤP THỤ NĂNG LƯỢNG CỦA ỐNG THÀNH MỎNG

INFLUENCE OF STIFFENERS ON ENERGY ABSORPTION OF THIN-WALLED TUBE

Đoàn Thanh Sơn¹, Đặng Văn Thanh^{2,*},
Trần Trọng Nhân³, Đỗ Trung Trực⁴, Lê Đức Hiếu⁵

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.40>

TÓM TẮT

Trong bài báo này, nghiên cứu so sánh khả năng hấp thụ năng lượng của ống thành mỏng có và không có gân tăng cứng ở điều kiện chịu nén được tiến hành. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc thêm 2 và 4 gân tăng cứng vào ống chữ nhật thành mỏng làm tăng lực nghiêng ép đỉnh lần lượt là 9,7% và 37%; trong khi nó làm giảm năng lượng hấp thụ riêng tương ứng là 17,5% và 44% so với ống thành mỏng không có gân tăng cứng. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng phương pháp hàn điểm trong việc chế tạo mẫu là không hiệu quả vì nó xuất hiện hiện tượng nứt vỡ tại các mối hàn điểm khi những mẫu thí nghiệm có gân tăng cứng chịu nén.

Từ khóa: Ống thành mỏng, gân tăng cứng, hấp thụ năng lượng.

ABSTRACT

This paper investigates the effect of adding stiffeners on the energy absorption capacity of the thin-walled rectangular tube. Adding two and four stiffeners to the tube causes an increase in peak compressive load of 9.7% and 37%, respectively, compared to the thin-walled rectangular tube without any stiffener. However, the specific energy absorptions of thin-walled rectangular tubes with two and four stiffeners decrease by 17.5% and 44%, compared to that of the thin-walled rectangular tube without stiffeners. There are cracks appearing at the welding points during the compression process of the thin-walled rectangular tubes with stiffeners, which is an obstacle when we use spot welding in building the samples.

Keywords: Thin-walled, Stiffener, Energy absorption capacity.

¹Khoa Kỹ thuật ô tô, Trường Đại học Văn Lang

²Sở giao thông vận tải Cà Mau

³Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM

⁴Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Nguyễn Trường Tộ

⁵Khoa Công Nghệ Ô tô, Trường đại học công nghiệp Hà Nội

*Email: dangvanthanh.sgtvt@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/8/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/9/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2022

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, sử dụng những cấu trúc dạng ống thành mỏng trong việc hấp thụ năng lượng qua biến dạng dẻo

ngày càng được mở rộng. Những thiết bị hấp thụ được sử dụng để bảo vệ cấu trúc và giảm càng nhiều càng tốt những hư hỏng gây ra bởi nghiêng ép [1-3]. Biến dạng của cấu trúc có nhiều kiểu mà nó hấp thụ năng lượng theo những cách khác nhau và nổi bật nhất trong số chúng là biến dạng kiểu phát triển không ngừng. Kiểu biến dạng này được ưa thích nhất trong việc hấp thụ năng lượng của cấu trúc thành mỏng. Mặc dù vậy, hiệu quả hấp thụ năng lượng của cấu trúc thành mỏng nên được phân tích và đánh giá dựa trên khối lượng của bản thân cấu trúc đó [4]. Các chỉ số chính cần được phân tích và đánh giá khi nghiên cứu các cấu trúc hấp thụ năng lượng là lực nghiêng ép đỉnh (PCL) và năng lượng hấp thụ riêng (SEA).

Một trong những nghiên cứu đầu tiên về cấu trúc thành mỏng là công trình nghiên cứu của Pugsley [5]. Tác giả đã nghiên cứu các hành vi biến dạng của ống tròn do quá trình nén gây ra mà nó làm nhàu nát trên thành ống. Đáp ứng của sự nhàu nát trên thành ống được phân tích dựa trên thực nghiệm và một lý thuyết gần đúng được sử dụng để dự đoán lực nghiêng ép. Những nghiên cứu dựa trên thực nghiệm cũng được tiến hành bởi các tác giả khác sau đó như công trình của Abramowicz và Wierzbicki [6] hoặc công trình của Abramowicz và Jones [7].

Mới đây, những nghiên cứu xem xét ảnh hưởng của các tiết diện khác nhau đến năng lượng hấp thụ riêng (SEA) cũng được tiến hành một cách rộng rãi. Những tiết diện được sử dụng trong các nghiên cứu ở trên bao gồm hình vuông, hình tròn, hình chữ nhật [8-10]. Bên cạnh việc khảo sát ứng xử của cấu trúc chịu tải dọc trục [11] thì cấu trúc chịu tải ngang cũng được tiến hành bởi Abdewi và cộng sự [12].

Bên cạnh các nghiên cứu về việc cải thiện năng lượng hấp thụ của cấu trúc đa tế bào của Pirmohammad và các cộng sự [13] hoặc của Tang và các cộng sự [14], Birch và Jones [15] đã nghiên cứu ảnh hưởng của việc thêm các gân tăng cứng vào ống tròn đối với sức bền chịu nén và khả năng hấp thụ năng lượng. Như vậy, những nghiên cứu ảnh hưởng của gân tăng cứng đối với khả năng hấp thụ của cấu trúc còn hạn chế. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của việc thêm gân tăng cứng vào cấu trúc ống thành mỏng tiết

diện hình chữ nhật được đối với khả năng chịu nén được xem xét và sau đó sẽ so sánh với ống thành mỏng hình chữ nhật không được thêm gân tăng cứng.

2. CHẾ TẠO MẪU VÀ THỰC NGHIỆM

Ống ban đầu được chọn là ống hình chữ nhật với bề rộng 50mm, bề sâu 100mm và dài 200mm. Độ dày của thành ống chữ nhật là 1,2mm. Ống chữ nhật này được kết nối với 2 hoặc 4 gân tăng cứng bằng phương pháp hàn điểm. Gân tăng cứng có bề rộng 40mm, dày 1,4mm và dài 200mm. Khoảng cách của 2 điểm hàn liên tiếp nhau là 200/6mm. Hình dạng của ba ống nghiên cứu được thể hiện ở hình 1. Những ống này được ký hiệu lần lượt là Count.-5x10-1, RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1.



Hình 1. a) Ống chữ nhật, b) Ống chữ nhật với 2 gân tăng cứng và c) Ống chữ nhật với 4 gân tăng cứng

Để nghiên cứu khả năng chịu nén của những ống ở trên, thí nghiệm nén được tiến hành trên máy kéo nén vạn năng (hình 2). Hai hàm nén trên và dưới được lắp đặt như hình vẽ và mẫu thí nghiệm được đặt cố định trên hàm nén dưới của thiết bị. Thí nghiệm nén được tiến hành bằng chuyển động đi lên của hàm nén bên dưới về phía hàm nén bên trên với vận tốc 25mm/phút. Máy kéo nén vạn năng này được kết nối với một máy tính và trong quá trình nén diễn ra, đồ thị lực - chuyển vị sẽ được ghi lại bởi phần mềm và được thể hiện trên màn hình máy tính. Trên cơ sở đồ thị lực chuyển vị của mẫu thí nghiệm, các chỉ số bao gồm lực nghiền ép đỉnh (PCL) và năng lượng hấp thụ riêng (SEA) được xác định.



Hình 2. Máy kéo nén vạn năng

3. CÁC CHỈ SỐ CHÍNH PHẢN ẢNH ỨNG XỬ CỦA ỐNG THÀNH MỎNG

Tính tin cậy chịu nghiền ép của cấu trúc thành mỏng bao gồm năng lượng hấp thụ (EA), năng lượng hấp thụ riêng (SEA), lực nghiền ép đỉnh (PCL), lực nghiền ép trung bình (MCL), Tỷ lệ lực nghiền ép (CLR).

(i) Năng lượng hấp thụ (EA)

Năng lượng hấp thụ thể hiện khả năng hấp thụ năng lượng nghiền của ống thành mỏng thông qua biến dạng dẻo của nó. Nó có thể được tính toán từ diện tích bên dưới của biểu đồ lực - chuyển vị tương ứng và có được tính toán như sau:

$$EA = \int_0^l P(x)dx \tag{1}$$

với P(x) là lực nghiền ép tức thời và là hàm của chuyển vị x trong quá trình nghiền và l là chuyển vị biến dạng hiệu quả.

(ii) Năng lượng hấp thụ riêng (SEA)

SEA thể hiện khả năng hấp thụ năng lượng của ống thành mỏng liên quan đến khối lượng (m) của nó. Do đó, nó có thể được tính toán bằng công thức:

$$SEA = \frac{EA}{m} \tag{2}$$

(iii) Lực nghiền ép đỉnh (PCL)

PCL là lực nghiền ép tức thời lớn nhất ở giai đoạn đầu của ống thành mỏng của quá trình nén. PCL lớn có thể dẫn đến giảm tốc lớn và gây thương tích cho hành khách. Như thế, PCL cần được giảm thiểu càng nhiều càng tốt, hoặc là hạn chế ở mức an toàn.

(iv) Lực nghiền ép trung bình (MCL)

MCL là lực nghiền ép trung bình được tính bởi lượng hấp thụ năng lượng của ống thành mỏng đối với chuyển vị (d) và được tính bằng công thức:

$$SEA = \frac{EA}{d} \tag{3}$$

(v) Tỷ lệ lực nghiền ép (CLR)

CLR thể hiện sự ổn định của lực nghiền ép và có thể được tính như sau

$$CLR = \frac{MCL}{PCL} \tag{4}$$

4. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

Quá trình nén của cả ba mẫu thí nghiệm được biểu diễn ở hình 3, 4, và 5 cho ống chữ nhật không có gân tăng cứng, ống chữ nhật với 2 gân tăng cứng và ống chữ nhật với 4 gân tăng cứng tương ứng. So với quá trình biến dạng của hai mẫu thí nghiệm có gân tăng cứng là RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1, thì quá trình biến dạng của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1 diễn ra đều và lũy tiến hơn. Quá trình biến dạng của hai mẫu RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 diễn ra không đồng nhất và khác biệt rất rõ so với mẫu Count.-5x10-1 do tác động của các gân tăng cứng cũng như sức bền chống uốn của cấu trúc khi hàn điểm.

Biến dạng của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1 diễn ra ở giữa ống và các nếp gấp được hình thành ở phần dưới của ống. Trong khi biến dạng của hai mẫu RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 xảy ra ở đầu mút chịu nén phía trên và

phía dưới tương ứng. Các nếp gấp tạo thành của hai mẫu này cũng khác biệt rất nhiều so với nếp gấp tạo thành của mẫu thí nghiệm không có gân tăng cứng Count.-5x10-1. Hình dạng của nếp tạo thành của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1 thì rõ ràng hơn hình dạng của nếp gấp tạo thành của hai mẫu RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1. Như thế, việc thêm gân tăng cứng vào cấu trúc và hàn điểm tác động rất nhiều đến sự hình thành của nếp gấp. Bên cạnh đó, hình 3, 4 và 5 cũng cho thấy sự biến dạng không ổn định của hai mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 so với biến dạng của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1. Sự hư hỏng tại các mối hàn điểm của hai mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 cũng được cho thấy trên hình 4 và 5. Kết quả này cho thấy khả năng chịu nén của ống được tăng cường bởi gân tăng cứng bằng phương pháp hàn điểm là thấp.



Hình 3. Quá trình nén của ống chữ nhật không có gân tăng cứng

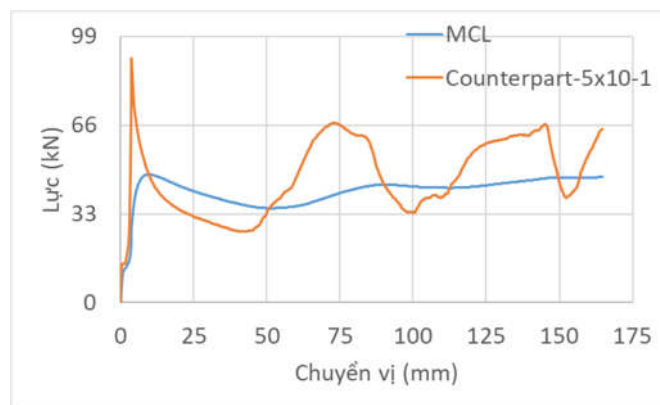


Hình 4. Quá trình nén của ống chữ nhật với 2 gân tăng cứng



Hình 5. Quá trình nén của ống chữ nhật với 4 gân tăng cứng

Biểu đồ lực - chuyển vị của cả ba mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1, RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 được trình bày ở hình 6, 7 và 8, tương ứng. Các hình cho thấy rằng sự thay đổi của lực nghiền ép thì nó tương ứng với sự hình thành các nếp gấp của ống thành mỏng. Biên dạng của biểu đồ lực - chuyển vị của Count.-5x10-1 thì khác biệt rất lớn so với biểu đồ lực - chuyển vị của hai mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1. Sự thay đổi của lực nghiền ép của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1 thì lớn hơn và rõ ràng hơn so với sự thay đổi của lực nghiền ép của hai mẫu RS2-510401.4SW1, và RS4-510401.4SW1. Và kết quả này được thể hiện rõ ở hình dáng của nếp gấp được tạo thành trên ống trong quá trình nén. Tuy nhiên, do tác động của việc thêm vào các gân tăng cứng, giá trị của lực nghiền ép của hai mẫu RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 lớn hơn so với của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1.

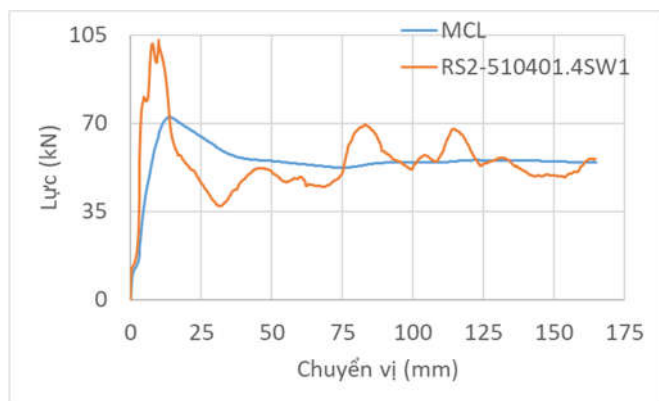


Hình 6. Biểu đồ lực - chuyển vị của ống chữ nhật không có gân tăng cứng

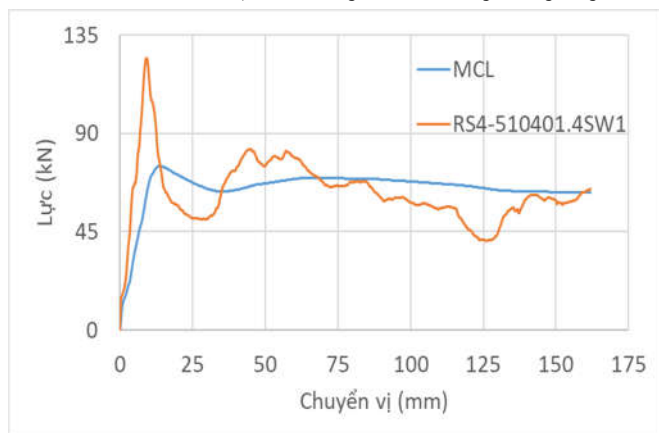
Từ biểu đồ lực - chuyển vị của cả ba mẫu thí nghiệm ở hình 6, 7 và 8, các chỉ số so sánh như EA, PCL, MCL, CLR, SEA được liệt kê ở bảng 1. Bảng này cho ta thấy, lực nghiền ép đỉnh và lực nghiền ép trung bình của hai mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 thì lớn hơn lực nghiền ép đỉnh và lực nghiền ép trung bình của mẫu thí

nghiệm Count.-5x10-1. Lực nghiền ép đỉnh của hai mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 lớn hơn lần lượt là 9,7% và 37% so với lực nghiền ép đỉnh của Count.-5x10-1. Tương tự so với lực nghiền ép đỉnh, lực nghiền ép trung bình của hai mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 lớn hơn 24,7% và 35,6% tương ứng so với lực nghiền ép trung bình của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1.

Đối với chỉ số tỉ lệ lực nghiền ép ở bảng 1, chúng ta thấy rằng chỉ số tỉ lệ lực nghiền ép của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1 thì tương đương với giá trị của tỉ lệ lực nghiền ép của mẫu thí nghiệm RS4-510401.4SW1, nhưng lại nhỏ hơn 13,7% so với tỉ lệ lực nghiền ép của mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1. Giá trị của hấp thụ năng lượng của hai mẫu thí nghiệm có gân tăng cứng thì có cùng xu hướng với xu hướng của lực nghiền ép đỉnh. Nghĩa là năng lượng hấp thụ của hai mẫu RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 lớn hơn lần lượt là 24,8% và 35,8% so với năng lượng hấp thụ của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1. Tuy nhiên, năng lượng hấp thụ riêng của mẫu thí nghiệm Count.-5x10 thì lớn hơn tương ứng là 17,5% và 44% so với năng lượng hấp thụ riêng của mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và mẫu thí nghiệm RS4-510401.4SW1. Kết quả này có thể được giải thích là do khối lượng của mẫu thí nghiệm RS2-510401.4SW1 và RS4-510401.4SW1 lớn hơn 46,6% và 95,5% tương ứng so với khối lượng của mẫu thí nghiệm Count.-5x10-1.



Hình 7. Biểu đồ lực - chuyển vị của ống chữ nhật với 2 gân tăng cứng



Hình 8. Biểu đồ lực - chuyển vị của ống chữ nhật với 4 gân tăng cứng

Bảng 1. Các thông số chính của 3 mẫu thí nghiệm

Cấu trúc	m (kg)	PCL (kN)	MCL (kN)	CLR	SEA (kJ/kg)	EA (kJ)
Count.-5x10-1	0,562	90,85	46,41	0,51	13,28	7,46
RS2-510401.4SW1	0,824	99,72	57,87	0,58	11,30	9,31
RS4-510401.4SW1	1,099	124,49	62,94	0,51	9,22	10,13

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xem xét ảnh hưởng của gân tăng cứng đối với khả năng hấp thụ năng lượng của ống chữ nhật thành mỏng trong điều kiện chịu nén. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng số lượng gân tăng cứng thêm vào ống chữ nhật thành mỏng ảnh hưởng rất lớn đến khả năng chịu nén cũng như khả năng hấp thụ năng lượng của cấu trúc. Việc thêm vào gân tăng cứng làm tăng giá trị của lực nghiền ép đỉnh cũng như năng lượng hấp thụ. Nhưng việc thêm các gân tăng cứng vào ống chữ nhật thành mỏng làm giảm chỉ số năng lượng hấp thụ riêng của ống thành mỏng do bởi việc thêm gân tăng cứng vào ống thành mỏng làm tăng khối lượng của cấu trúc. Ngoài ra, liên kết của gân tăng cứng và ống thành mỏng bằng phương pháp hàn điểm làm giảm khả năng chịu nén cũng như khả năng hấp thụ năng lượng riêng của cấu trúc. Điều này được thể hiện ở chỗ các mối hàn điểm bị nứt vỡ dưới tác động của quá trình nén và như thế nó là một trở ngại của việc áp dụng phương pháp hàn điểm và việc chế tạo thiết bị hấp thụ năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. G. Sun, T. Pang, C. Xu, G. Zheng, J. Song, 2017. *Energy absorption mechanics for variable thickness thin-walled structures*. Thin-Walled Structures, 118, 214-228.

[2]. A. Baroutaji, E. Morris, A.G. Olabi, 2014. *Quasi-static response and multi-objective crashworthiness optimization of oblong tube under lateral loading*. Thin-Walled Structures, 82, 262-277.

[3]. Z. Fan, G. Lu, K. Liu, 2013. *Quasi-static axial compression of thin-walled tubes with different cross-sectional shapes*. Engineering Structures, 55, 80-89.

[4]. T. Wierzbicki, S.U. Bhat, W. Abramowicz, D. Brodtkin, 1992. *Alexander revisited - A two folding elements model of progressive crushing of tubes*. International Journal of Solids and Structures, 29, 3269-3288.

[5]. A. Pugsley, 1960. *The Large-Scale Crumpling of Thin Cylindrical Columns*. The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 13, 1-9.

[6]. W. Abramowicz, T. Wierzbicki, 1989. *Axial Crushing of Multicorner Sheet Metal Columns*. Journal of Applied Mechanics, 56, 113-120.

[7]. W. Abramowicz, N. Jones, 1984. *Dynamic axial crushing of square tubes*. International Journal of Impact Engineering, 2, 179-208.

[8]. B. Arnold, W. Altenhof, 2004. *Experimental observations on the crush characteristics of AA6061 T4 and T6 structural square tubes with and without circular discontinuities*. International Journal of Crashworthiness, 9, 73-87.

[9]. Z. Li, W. Ma, L. Hou, P. Xu, S. Yao, 2020. *Crashworthiness analysis of corrugations reinforced multi-cell square tubes*. Thin-Walled Structures, 150, 106708.

- [10]. S. Hou, X. Han, G. Sun, S. Long, W. Li, X. Yang, Q. Li, 2011. *Multiobjective optimization for tapered circular tubes*. *Thin-Walled Structures*, 49, 855-863.
- [11]. L. Aktay, A.K. Toksoy, M. Güden, 2006. *Quasi-static axial crushing of extruded polystyrene foam-filled thin-walled aluminum tubes: Experimental and numerical analysis*. *Materials & Design*, 27, 556-565.
- [12]. E.F. Abdewi, S. Sulaiman, A.M.S. Hamouda, E. Mahdi, 2008. *Quasi-static axial and lateral crushing of radial corrugated composite tubes*. *Thin-Walled Structures*, 46, 320-332.
- [13]. S. Pirmohammad, S.E. Marzdashti, 2016. *Crushing behavior of new designed multi-cell members subjected to axial and oblique quasi-static loads*. *Thin-Walled Structures*, 108, 291-304.
- [14]. Z. Tang, S. Liu, Z. Zhang, 2013. *Analysis of energy absorption characteristics of cylindrical multi-cell columns*. *Thin-Walled Structures*, 62, 75-84.
- [15]. R.S. Birch, N. Jones, 1990. *Dynamic and static axial crushing of axially stiffened cylindrical shells*. *Thin-Walled Structures*, 9, 29-60.

AUTHORS INFORMATION

**Doan Thanh Son¹, Dang Van Thanh², Tran Trong Nhan³,
Do Trung Truc⁴, Le Duc Hieu⁵**

¹Faculty of Automotive Engineering, Van Lang University

²Ca Mau Department of Transportation

³Faculty of Mechanical Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City

⁴Faculty of Mechanic, Nguyen Truong To Technical College

⁵Faculty of Automobile Technology, Ha Noi University of Industry