NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỐ QUÁ TRÌNH DẬP THỦY TĨNH CHI TIẾT CÚT NỐI CHỮ T TỪ PHÔI ỐNG

Lương Văn Giới, Trần Đức Hoàn, Nguyễn Mạnh Tiến*

Tóm tắt: *Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng số quá trình dập thủy tĩnh phôi ống chi tiết cút nối chữ T với sơ đồ có ép dọc trục không có đối áp. Mô phỏng số trên phần mềm Deform 3D để lựa chọn các thông số công nghệ phù hợp: áp lực chất lỏng tạo hình, tốc độ chày ép dọc trục. Trên cơ sở mô phỏng số, đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình tạo hình sản phẩm. Các kết quả thu được cho phép khuyến cáo cho thiết kế công nghệ và giải quyết bài toán tối ưu hóa.*

Từ khóa: Tạo hình kim loại; Dập thủy tĩnh; Áp lực tạo hình; Mô phỏng số; Ống.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dập thủy tĩnh phôi ống là quá trình tạo hình chi tiết trong hai nửa khuôn đóng kín bằng áp lực thủy tĩnh cao tác dụng bên trong lòng ống. Công nghệ này được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như sản xuất ô-tô, xe máy, hàng không,... để chế tạo các chi tiết dạng ống có hình dạng phức tạp. Phương pháp dập thủy tĩnh phôi ống cho phép giảm đáng kể giá thành sản phẩm, chi phí dụng cụ, tiết kiệm vật liệu, tăng năng suất và cơ tính của sản phẩm đáng kể so với các các phương pháp truyền thống như đúc, hàn, gia công cơ,... [1, 2] Chi tiết cút nối chữ T là một trong các dạng chi tiết phức tạp được chế tạo bằng công nghệ dập thủy tĩnh. Sơ đồ trạng thái ứng suất – biến dạng khi tạo hình chi tiết cút nối chữ T bằng phương pháp dập thủy tĩnh là rất phức tạp [7, 8]. Điều đó làm cho chất lượng sản phẩm thu được có sự không đồng đều về chiều dày, đặc biệt phần biến dạng lớn để tạo ra vấu chữ T có xu hướng biến mỏng là chủ yếu. Có nhiều sơ đồ dập thủy tĩnh chi tiết dạng chữ T, trong đó, được sử dụng phổ biến là sơ đồ dập có ép dọc trục không có đối áp hoặc có ép dọc trục kết hợp với đối áp [1-3], tạo ra một trạng thái ứng suất thuận lợi làm tăng khả năng biến dạng dẻo của phôi ống.

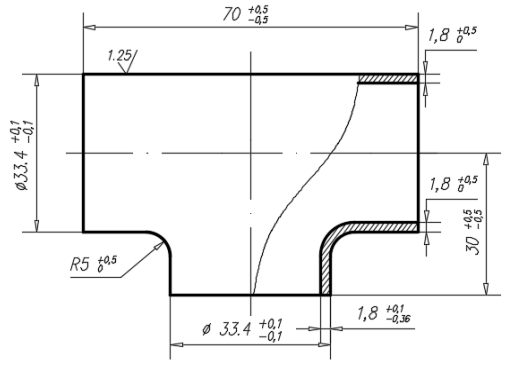
Nghiên cứu [4] đã chỉ ra ảnh hưởng của một số thông số công nghệ như hệ số ma sát, áp lực tạo hình, tốc độ ép dọc trục đến chiều cao và sự phân bố chiều dày ở vấu khi dập thủy tĩnh chi tiết chữ T với sơ đồ ép dọc trục kết hợp đối áp. Nghiên cứu [5] chỉ ra sự phù hợp của thực nghiệm và mô phỏng số khi dập thủy tĩnh chi tiết dạng chữ T, chữ X, đồng thời đưa ra ảnh hưởng của một số yếu tố như bán kính lượn của cối, ma sát và áp lực tạo hình (tải thay đổi theo hành trình ép dọc trục) đến chiều cao và chiều dày thành của vấu.

Tuy nhiên, các nghiên cứu chỉ ra đều chưa lý giải việc lựa chọn sơ đồ dập thủy tĩnh, cũng như khoảng nghiên cứu của các thông số. Trong [6] đưa ra việc khảo sát tốc độ của chày ép dọc trục từ 1 đến 10 mm/s, nhưng cũng chưa chỉ ra tại sao lại lựa chọn khoảng giá trị này. Việc đưa ra các khoảng thông số công nghệ là một bài toán quan trọng để khuyến cáo cho thiết kế và tối ưu hóa công nghệ chế tạo. Hiện nay, với sự phát triển của mô phỏng số, các thí nghiệm ảo được xây dựng để dần thay thế cho các công việc chế thử tốn kém chi phí, đồng thời cũng có thể thiết lập giải quyết bài toán tối ưu hóa. Trong bài báo này, ứng dụng phần mềm mô phỏng số Deform 3D để đưa ra khoảng biến thiên của các thông số công nghệ phù hợp để nhận được chi tiết dạng chữ T.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN MÔ PHỎNG SỐ

2.1. Lựa chọn sơ đồ dập thủy tĩnh

Bài toán mô phỏng số được thực hiện trên phần mềm Deform 3D. Mô hình hình học của bài toán được xây dựng cho chi tiết cút nối chữ T với yêu cầu về hình dáng và kích thước như hình 1, trong đó, chiều dày thành vấu của chi tiết cho phép biến mỏng đến 20%; độ chênh lệch chiều dày thành của phần vấu đến 20%.



Hình 1. *Chi tiết cút nối chữ T.*

Với kích thước danh nghĩa của chiều dày phần vấu và phần ống là 1,8 mm và các yêu cầu nói trên, để nghiên cứu bài toán mô phỏng số lựa chọn 3 loại phôi ống với chiều dày khác nhau, đường kính ngoài bằng với đường kính chi tiết, cụ thể các kích thước được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. *Các kích thước của phôi ống.*

Phôi ống	Đường kính ngoài, mm	Chiều dày, mm	Chiều dài, mm	Chiều dày tương đối, %
Phôi 1	33,4	1,7	170	5,1
Phôi 2	33,4	1,8	170	5,4
Phôi 3	33,4	1,9	170	5,7

Vật liệu phôi là thép cacbon mác AISI 1010 có các đặc trưng cơ tính như bảng 2.

Bảng 2. *Các đặc trưng cơ tính của AISI 1010.*

C **%**	σ_s MPa	σ_b MPa	Độ giãn dài %	Độ giảm diện tích %	Độ cứng HB
0,1	304	365	20	40	100

Áp lực chất lỏng trong lòng phôi phụ thuộc vật liệu, chiều dày thành vấu. Áp lực chất lỏng nhỏ nhất gây biến dạng tính theo công thức [1]:

$$P_{\min} = \sigma_s . \frac{2T}{D - T} \quad (1)$$

Áp lực chất lỏng lớn nhất phá hủy vấu [1]:

$$P_{\max} = \sigma_b . \frac{4T}{D - T} \quad (2)$$

Trong đó: T là chiều dày thành sản phẩm, D là đường kính sản phẩm.

Tuy nhiên, trong thực tế có hiện tượng biến cứng của kim loại bị biến dạng và sai số đồng trục giữa hai chày ép dọc trục với nửa khuôn trên và nửa khuôn dưới nên áp lực tạo hình sản phẩm cần phải lớn hơn khá nhiều so với $P_{\min}$. Theo [1] thì áp lực tạo hình cần thiết để tạo hình sản phẩm được tính theo công thức:

$$P \geq 0{,}13.\sigma_S + 1{,}15.\sigma_S . \frac{T}{D} \quad (3)$$

Theo công thức (1), (2) và (3), áp lực tạo hình đối với chi tiết nghiên cứu được tính cho cả 3 loại phôi có giá trị như bảng 3.

Bảng 3. *Áp lực tạo hình.*

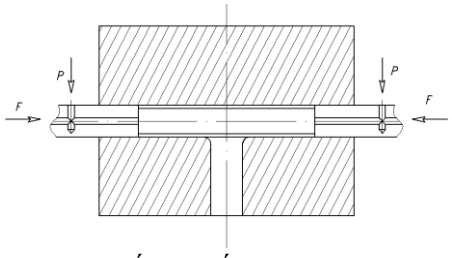
Phôi ống	$P_{\min}$, MPa	$P_{\max}$, MPa	P , MPa
Phôi 1	33	78	57
Phôi 2	35	83	58
Phôi 3	37	88	59

Trong sơ đồ dập thủy tĩnh, nếu cung cấp một nguồn áp lực tạo hình cố định trong cả quá trình dập, cũng không nên chọn giá trị quá lớn, vì trong quá trình dập chiều dày tại vấu của chi tiết chữ T sẽ giảm dần, dẫn đến phá hủy nhanh chóng khi áp lực thủy tĩnh duy trì ở mức cao. Áp lực tạo hình không nên chọn quá 90% áp lực lớn nhất $P_{\max}$. Từ đó, có thể đưa ra một khoảng lựa chọn áp lực tạo hình an toàn để nghiên cứu cả 3 loại phôi đang xét từ 60 đến 70 MPa.

Theo [1], sơ đồ dập thủy tĩnh có ép dọc trục có đối áp là để giảm ứng suất kéo ở đỉnh vấu và làm giảm nguy cơ phá hủy tại đó, đồng thời cũng làm giảm ứng suất kéo trên thành vấu, điều này dẫn đến làm giảm chiều cao vấu. Lực đối áp được tính toán theo công thức [1]:

$$F_s = P\left(\frac{\pi(D-2T)}{4}\right) - (0,6 \div 0,7)\sigma_b.\pi.(D-T).T \qquad (4)$$

Sơ đồ quá trình dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T có ép dọc trục không có đối áp được trình bày trong hình 2.

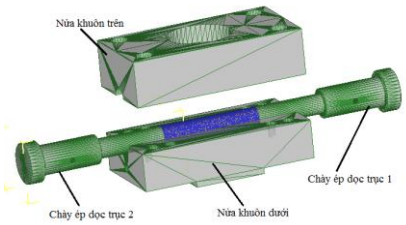


Hình 2. *Sơ đồ dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T có ép dọc trục không có đối áp.*

Phôi được đặt vào lòng cối, hai chày dọc trục chuyển động vào, làm kín khoang trong lòng phôi. Nửa khuôn trên đi xuống theo các chốt định vị, ép lên nửa khuôn dưới với một lực đóng khuôn đủ lớn. Chất lỏng được bơm đầy vào trong lòng ống và tăng áp lực đến giá trị đã đặt trước, đồng thời hai chày ép dọc trục tiếp tục đi vào với tốc độ đã đặt trước. Phôi bị biến dạng theo hình dạng lòng cối đến khi dừng quá trình dập.

2.2. Mô hình hình học bài toán dập thủy tĩnh có ép dọc trục

Mô hình hình học của khuôn dập thủy tĩnh của bài toán nghiên cứu được xây dựng dạng 3D theo sơ đồ đã lựa chọn được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. *Mô hình hình học của khuôn dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T.*

2.3. Các điều kiện mô phỏng số

Khi mô phỏng số giả thiết hệ số ma sát tiếp xúc giữa phôi và các dụng cụ là không đổi. Trong quá trình biến dạng, áp lực tạo hình trong lòng phôi không thay đổi, hai chày ép dọc trục chuyển động với tốc độ không đổi. Phôi được chia lưới kích thước phần tử đủ nhỏ, đảm bảo các kết quả tính toán hội tụ. Với chi tiết nghiên cứu, số lượng khoảng 220.000 phần tử.

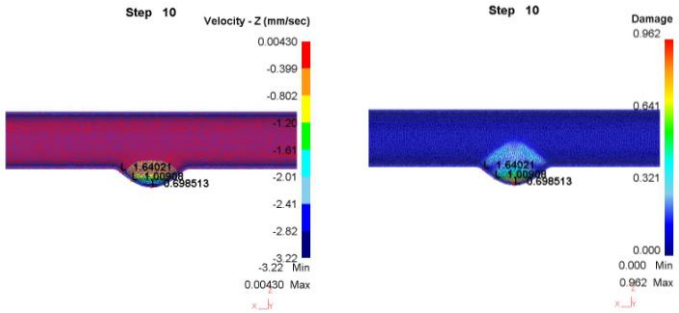
Mô hình vật liệu AISI 1010 được lấy trong thư viện của phần mềm Deform 3D. Bài toán được thiết lập với điều kiện dừng mô phỏng đặt cho hai chày ép dọc trục dịch chuyển được 40 mm theo hướng chuyển động của nó.

Áp lực tạo hình giữ cố định trong cả quá trình dập thủy tĩnh, được lựa chọn phù hợp với cả 3 loại phôi nghiên cứu từ 60 đến 70 MPa.

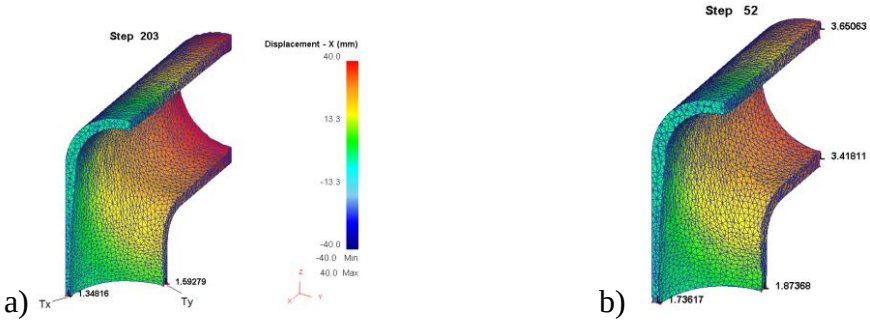
Tốc độ chuyển động của hai chày ép dọc trục là thông số công nghệ quan trọng, nó ảnh hưởng đến giá trị ứng suất nén theo trục của phôi, do đó, ảnh hưởng đến quá trình biến dạng. Nếu tốc độ này quá lớn, sẽ gây ra việc mất ổn định phôi, tạo ra khuyết tật giống như quá trình chồn phôi với chiều cao tương đối lớn hơn 2,5. Nếu tốc độ này quá nhỏ thì lại hầu như không có tác dụng của ép dọc trục, giống như sơ đồ dập thủy tĩnh không có ép dọc trục.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Khi mô phỏng số quá trình dập thủy tĩnh không có ép dọc trục với áp lực tạo hình 70 MPa, phôi có chiều dày 1,7 mm thì phôi bị phá hủy do chiều dày phần vấu chữ T bị biến mỏng rất lớn. Tuy nhiên, tại thời điểm trước khi phá hủy quan sát được vận tốc chảy của vật liệu theo trục của vấu chữ T (hình 4) có giá trị lớn nhất 3,22 mm/s. Điều này khẳng định rằng, phải sử dụng sơ đồ dập thủy tĩnh có ép dọc trục mới có thể tạo hình được chi tiết nghiên cứu.



Hình 4. *Dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T không có ép dọc trục với phôi 1 và P=70 Mpa.*



Hình 5. *Dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T với phôi 1 và P=60 MPa tốc độ chày ép dọc trục: a) 2 mm/s; b) 8 mm/s.*

Tiếp tục mô phỏng số với trường hợp có ép dọc trục với các tốc độ của chày ép dọc trục thay đổi trong khoảng rộng từ 2 đến 30 mm/s, với phôi 1 có chiều dày 1,7 mm và áp lực tạo hình 60 MPa. Cắt lấy cùng chiều cao vấu của chi tiết cút chữ T, thì chiều dày thành vấu Tx (mặt cắt có pháp tuyến là trục X) và Ty (mặt cắt có pháp tuyến là trục Y) là khác nhau.

Xu hướng chung là Tx < Ty và tốc độ càng lớn thì chiều dày thành vấu Tx và Ty càng lớn và thậm chí lớn hơn chiều dày ban đầu 1,7 mm. Trạng thái ứng suất – biến dạng khi dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T là rất phức tạp, không chỉ chiều dày phần vấu không đồng đều mà cả chiều dày phần ống sau biến dạng cũng không đồng đều (hình 5b).

Mô phỏng số được thực hiện với các phôi 2 và 3 với các chiều dày tương ứng 1,8 và 1,9 mm ở các áp lực tạo hình cố định tường ứng 65 và 70 MPa. Kết quả cụ thể được chỉ ra ở bảng 4.

***Bảng 4**. Kết quả mô phỏng số.*

Vch, mm/s	T=1,7 mm; p=60 MPa		T=1,8 mm; p=65 MPa		T=1,9 mm; p=70 MPa	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
2	1,213	1,6145	1,3554	1,6275	1,3832	1,7046
5	1,218	1,568	1,373	1,595	1,4656	1,676
8	1,412	1,6436	1,4563	1,699	1,516	1,720
10	1,431	1,6514	1,457	1,668	1,4939	1,6709

Từ bảng kết quả trên có thể thấy rằng, khi dập thủy tĩnh tạo hình chi tiết cút nối chữ T, độ không đồng đều chiều dày thành ở vấu là không thể tránh khỏi. Độ không đồng đều chiều dày thành được tính theo công thức:

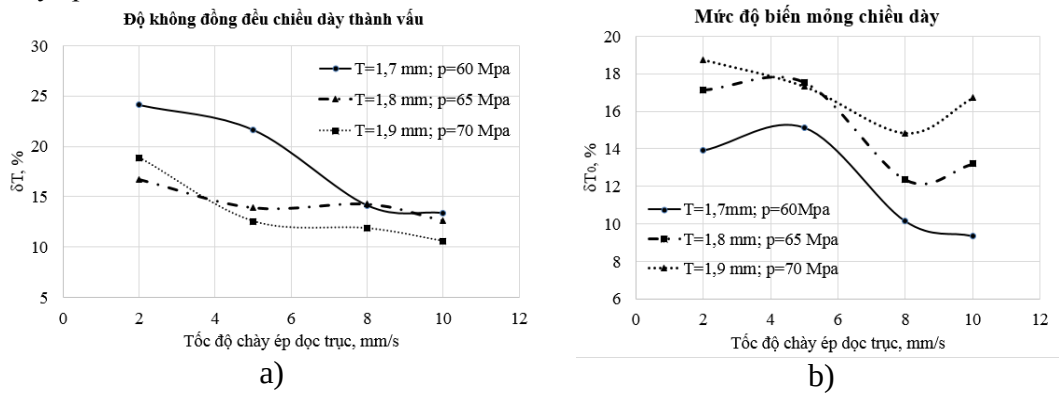
$$\delta T = \frac{100 \cdot (Ty - Tx)}{Ty} \tag{5}$$

Sự không đồng đều này giảm khi tăng tốc độ chày ép dọc trục khoảng từ 6 đến 10 mm/s khi áp lực tạo hình 60 MPa, tuy nhiên, sự giảm đó là không nhiều với áp lực tạo hình lớn (p=65 đến 70 MPa) (đồ thị hình 6a). Như vậy, khi xét đến chiều dày thành của vấu chữ T, có thể coi giá trị chiều dày bằng giá trị trung bình của Tx và Ty. Khi đó, mức độ biến mỏng chiều dày ở phần vấu so với chiều dày phôi ban đầu có thể được tính theo công thức:

$$\delta T_0 = \frac{100 \cdot (T_0 - 0{,}5 \cdot (Ty - Tx))}{T_0} \tag{6}$$

Trong đó, T_0 là chiều dày ban đầu của phôi ống.

Trên đồ thị hình 6b, rõ ràng mức độ biến mỏng tăng lên khi áp lực tạo hình tăng và nó giảm khi tăng tốc độ chày ép dọc trục. Khi áp lực tạo hình ở mức cao (p=65; 70 MPa) thì mức độ biến mỏng lớn, còn khi áp lực thấp (p=60 MPa) thì mức độ biến mỏng nhỏ hơn. Điều này cho thấy rằng nên lựa chọn vùng áp lực tạo hình gần với cận dưới theo công thức (3). Trong khoảng tốc độ của chày ép dọc trục từ 2 đến 10 mm/s, mức độ biến mỏng đều nhỏ hơn 20%. Ở mỗi mức của áp lực tạo hình, thì mức độ biến mỏng nhỏ nhất khi tốc độ chày ép dọc trục từ 6 đến 10 mm/s.



a) b)

***Hình 6.** Đồ thị phụ thuộc của các yếu tố chiều dày thành vấu vào tốc độ chày ép dọc trục. a) Độ không đồng đều chiều dày; b) Sự biến mỏng chiều dày.*

Trong miền áp lực tạo hình đã chọn từ 60 đến 70 MPa, lựa chọn tốc độ chày ép dọc trục càng lớn càng tốt, còn áp lực tạo hình càng gần cận dưới thì tốt hơn. Tuy nhiên, từ yêu cầu cho phép về chiều dày và độ chênh lệch chiều dày thành vấu của chi tiết có thể lựa chọn khoảng nghiên cứu của tốc độ chày ép dọc trục từ 6 đến 10 mm/s.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, bằng mô phỏng số kết hợp với lý thuyết bài báo đã giới hạn được miền thông số công nghệ khi dập thủy tĩnh chi tiết cút nối chữ T; cụ thể, áp lực tạo hình trong khoảng 60 đến 70 MPa, tốc độ chày ép dọc trục từ 6 đến 10 mm/s, phôi có thể lựa chọn các chiều dày 1,7 đến 1,9 mm. Đồng thời, trong nghiên cứu này cũng chỉ ra ảnh hưởng của áp lực tạo hình và tốc độ của chày ép dọc trục đến mức độ biến mỏng, cũng như độ đồng đều chiều dày thành của vấu chi tiết chữ T. Trên cơ sở kết quả này, có thể tiếp tục tiến hành các nghiên cứu giải quyết bài toán tối ưu hóa các thông số công nghệ để thu được sản phẩm với chất lượng đáp ứng tốt yêu cầu kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Văn Nghệ, "*Công nghệ dập thủy tĩnh*," NXB ĐHBK Hà Nội (2006).
[2]. Muammer Koc, "*Hydroforming for Advanced Manufacturing*" Woodhead Publishing in Materials (2008).
[3]. Bathina Sreenivasulu, "*Development of Empirical Model for Tube Hydroforming Process using RSM*" International Journal of Applied Engineering Research, Volume 12, Number 12 (2017).
[4]. Bathina sreenivasulu, G. Prasanthi, "*FEA Simulation analysis of tube hydroforming process using DEFORM-3D*", 12th Global congress on manufacturing and management, Procedia Engineering 97 (2014).
[5]. P. Ray, B.J. Mac Donald, "*Experimental study and finite element analysis of simple X- and T-branch tube hydroforming processes*", International Journal of Mechanical Sciences 47 (2005).
[6]. Vishnu P. Sharma, Kamlesh Kushwaha, et al., *"Effect on finite element simulation of tube hydroforming process",* International Journal of Science & Technology Vol. 5 Issue 2 (2015).
[7]. Богоявленский К.Н., Вагин В.А., Мамутов В.С., Рис В.В., Чалев Д.И., и др. *"Гидропластическая обработка металлов",* Л.: Машиностроение, София: Техника (1988).
[8]. Богоявленский К.Н., Серяков Е.И., Кобышев А.Н., Воронина Н.Ф.; под ред. Богоявленского К.Н. *"Изготовление полых сложных деталей",* Л.: Машиностроение (1979).

ABSTRACT

A STUDY ON NUMERICAL SIMULATION OF T - SHAPE TUBE HYDROFORMING PROCESS

In this article, the study of tube hydroforming process with axial feed and non-counter pressure to make detail of connecting T by using numerical simulation. Numerical simulation on Deform 3D software to select appropriate technology parameters: forming fluid pressure, axial compression speed. Based on numerical simulation, evaluate the influence of technology parameters on the process of forming detail. The results obtained allow recommendations for technology design and optimization problems.

Keywords: Metal forming; Hydrostatic; Forming pressure; Numerical simulation; Tube.

Nhận bài ngày 19 tháng 3 năm 2020
Hoàn thiện ngày 25 tháng 4 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 03 tháng 8 năm 2020

Địa chỉ: Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự.
*Email: manhtiennguyen84@gmail.com.