

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO HỆ THỐNG UỐN TẠO HÌNH CHI TIẾT HÌNH CHỮ V CÓ GIA NHIỆT BẰNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Vương Gia Hải, Lê Thị Lan, Đinh Văn Hiền
Khoa Điện Cơ

Nguyễn Mạnh Hùng
Khoa CNTT
Email: haivg@dhhp.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/12/2021

Ngày PB đánh giá: 06/01/2022

Ngày duyệt đăng: 10/01/2022

TÓM TẮT: Trong bài báo này, nhóm tác giả đã thiết kế và chế tạo hệ thống uốn tạo hình chi tiết hình chữ V có gia nhiệt bằng cảm ứng điện từ, nhiệt độ nung phôi lên tới 6500C. Hệ thống bao gồm một bộ chày, cối uốn chi tiết hình chữ V, máy nung cao tần, bộ điều khiển nhiệt độ cần thiết khi nung. Căn cứ vào đặc tính của kim loại gia công mà nhiệt độ nung được điều khiển và giữ ổn định ở mức phù hợp trong suốt quá trình gia công, điều này thực hiện được là nhờ bộ điều khiển nhiệt độ. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động tốt theo những tính toán thiết kế ban đầu. Hệ thống có thể hỗ trợ tốt cho quá trình uốn chi tiết hình chữ V như giúp giảm lực uốn, tăng độ chính xác biên dạng chi tiết uốn trong sản xuất thực tế. Ngoài ra có thể dùng trong hỗ trợ giảng dạy trong các trường đại học có chuyên ngành kỹ thuật có liên quan.

Từ khóa: Nhiệt độ cao, uốn tạo hình chữ V, nung cao tần, chày - cối uốn

A STUDY ON DESIGNING AND MANUFACTURING V-SHAPE BENDING SYSTEM WITH HIGH FREQUENCY OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION HEATING

ABSTRACT: In this paper, the authors have designed and fabricated a V-bending and forming system with electromagnetic induction heating, the heating temperature of the workpiece is up to 6500C. The system includes a set of punches, a V- die, a high-frequency heater, and a necessary temperature controller when firing. Based on the properties of the workpiece metal, the firing temperature is controlled and kept at an appropriate level throughout the machining process which thanks to the temperature controller. The experimental results show that the above system works well following the original design calculations. The system can well support the bending process of V-shaped parts, such as reducing bending force and increasing the accuracy of bending details in actual production. In addition, it can be used to support teaching activities of relevant technical majors at universities.

Key words: High temperature, V-bending, high frequency firing, Punch-Die bending

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong gia công kết cấu thép và tàu thuyền hiện nay, thép tấm đã và đang được sử dụng ngày càng rộng rãi. Có rất nhiều công nghệ gia công khác nhau được ứng

dụng trong gia công tấm như: cắt, hàn, bóc, uốn, sắn [1], [2]. Trong các dạng sản phẩm làm từ thép tấm thì các chi tiết có biên dạng cong được gia công bằng công nghệ uốn sắn chiếm một tỷ trọng khá lớn. Các chi tiết này

được gia công bằng phương pháp uốn và giá trị lực uốn, biến dạng đàn hồi lại sau gia công chịu ảnh hưởng rất lớn từ các thông số công nghệ của quá trình uốn. Một trong các thông số có ảnh hưởng quan trọng tới quá trình uốn đó là nhiệt độ nung phôi, các nghiên cứu [3],[4],[5]skilled operators to a new generation of workers, and the need for an increased level of automation within the shipbuilding industry, it is necessary to investigate the factors which influence sheet plate bending and deformation during the heat bending process. According to research, the main factors which influence heat bending are the intensity of the heat source, the temperature variation of the input heat, and the speed of the heat source. These factors are inter-related and, therefore, it is not possible to change them arbitrarily during the manufacturing process. This paper suggests that it is necessary to establish a fuzzy system to enhance the performance of the manufacturing numerical controller in managing these parameters. It is possible to establish a heat bending control system, which uses the results of mathematical operations, and the signals from a displacement sensor to adjust the speed of the heat input source during the manufacturing process. One disadvantage of typical control mechanisms such as proportional, integral or differential (PID đã cho thấy hiệu quả của quá trình uốn có gia nhiệt cho phôi.

Trong nghiên cứu này, một sơ đồ nguyên lý hệ thống gia nhiệt cho quá trình gia công uốn chi tiết hình chữ V được thiết kế. Từ yêu cầu về các mức nhiệt độ cần thiết cho vật liệu uốn, kích thước chi tiết thực nghiệm nhóm nghiên cứu đã chế tạo hệ thống uốn có gia nhiệt phù hợp. Quá trình thực nghiệm

uốn có gia nhiệt thực hiện với vật liệu thép tấm SS400 để xác định sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới lực uốn và biến dạng đàn hồi lại sau gia công của chi tiết hình chữ V. Kết quả uốn cho thấy sự phù hợp của hệ thống thiết kế và khả năng ứng dụng trong thực tế sản xuất của nghiên cứu.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU, CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Hiện nay công nghệ uốn có gia nhiệt cũng đã có một số nghiên cứu ngoài nước đã thực hiện và cho kết quả khả quan như đã trình bày trong mục 1. Tuy nhiên các nghiên cứu đó chưa có nghiên cứu nào tập trung vào thép tấm SS400, một mác thép được sử dụng phổ biến trong gia công kết cấu thép và đóng tàu ở Việt Nam. Mặt khác, ở nước ta hiện nay các hệ thống hỗ trợ gia nhiệt cho quá trình gia công chưa nhiều và đa phần là tự phát, chưa có những nghiên cứu cụ thể để phát triển.

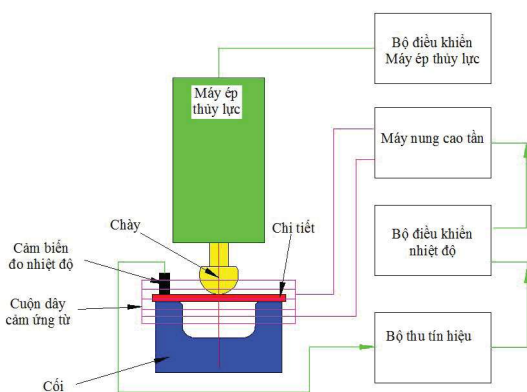
Nhóm nghiên cứu căn cứ vào cơ tính của thép tấm SS400 để thiết kế và chế tạo hệ thống gia nhiệt và uốn phù hợp, mức nhiệt độ phôi được nung cao nhất là ở 600°C sẽ đảm bảo cho vật liệu phôi không có sự thay đổi về tổ chức kim loại. Trong nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm ở ba mức nhiệt độ: nhiệt độ phòng, 300°C và 600°C là do ở 300°C là ngưỡng của biến dạng nguội, dưới 300°C là biến dạng nguội. Còn ở 600°C là biến dạng nửa nóng. Do đó ở ngưỡng nhiệt độ 300°C và 600°C có sự chuyển biến về giá trị mô đun đàn hồi E, thông thường ở nhiệt độ phòng thì mô đun đàn hồi E là tuyến tính, nhưng khi ở 300°C trở lên, đặc biệt là ở tầm 600°C thì E lại là phi tuyến. Chính vì đó là mức nhiệt ở các ngưỡng thay đổi của E nên nó sẽ xảy ra quá trình biến dạng khác nhau,

biến dạng nguội thường ở dưới 300°C , biến dạng nửa nóng từ 300°C đến 600°C . Hệ số E chịu ảnh hưởng rất lớn bởi nhiệt độ, khi nhiệt độ càng cao thì E càng giảm và khi kim loại nóng chảy thì hệ số E = 0. Ngoài ra, khi nhiệt độ thay đổi quá cao (vượt quá mức 727°C với thép cacbon) thì sẽ xảy ra hiện tượng thay đổi cấu trúc của vật liệu, mà trong giới hạn của nghiên cứu chỉ nghiên cứu tác động của nhiệt độ đến tính công nghệ của thép khi gia công uốn mà không làm thay đổi cấu trúc của vật liệu gia công.

Phương pháp nghiên cứu của nhóm thực hiện trong bài báo là nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Nhóm đã nghiên cứu một số công trình đã công bố về phương pháp gia nhiệt khi gia công, sau đó căn cứ vào cơ tính của thép SS400 xây dựng sơ đồ hệ thống gia nhiệt và chế tạo hệ thống. Tiến hành thực nghiệm uốn có gia nhiệt với hệ thống được chế tạo để khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ tới lực tạo hình và biến dạng đàn hồi lại sau gia công.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Sơ đồ thiết kế hệ thống uốn tạo hình chi tiết hình chữ V có gia nhiệt



Hình 1: Sơ đồ hệ thống thực nghiệm uốn có gia nhiệt [6]

Trên hình 1. là sơ đồ nguyên lý của hệ

thống thực nghiệm uốn có gia nhiệt chi tiết hình chữ V. Trong sơ đồ này, cối sẽ được cố định và lắp trên bàn máy, chày uốn sẽ thực hiện chuyển động theo phương thẳng đứng để uốn tạo hình chi tiết. Để gia nhiệt cho phôi, nghiên cứu sử dụng thiết bị gia nhiệt bằng cảm ứng điện từ. Để đảm bảo được nhiệt độ khi uốn luôn giữ ở một giá trị ổn định thì toàn bộ chày, cối và phôi được đặt trong cuộn dây cảm ứng từ. Kết hợp với một hệ thống điều khiển nhiệt độ gồm một cảm biến nhiệt độ đặt bên trong khu vực gia nhiệt cho phôi và bộ điều khiển nhiệt độ. Bao quanh vùng uốn có sử dụng một lớp bảo ôn (làm từ sợi thủy tinh) bao xung quanh để giảm tối đa hiện tượng thoát nhiệt ra môi trường xung quanh. Toàn bộ quá trình gia nhiệt cho phôi, quá trình uốn được thực hiện tự động sau khi đã cài đặt các thông số công nghệ cho các máy và thiết bị.

3.2 Chế tạo hệ thống uốn gia nhiệt và thiết lập thực nghiệm

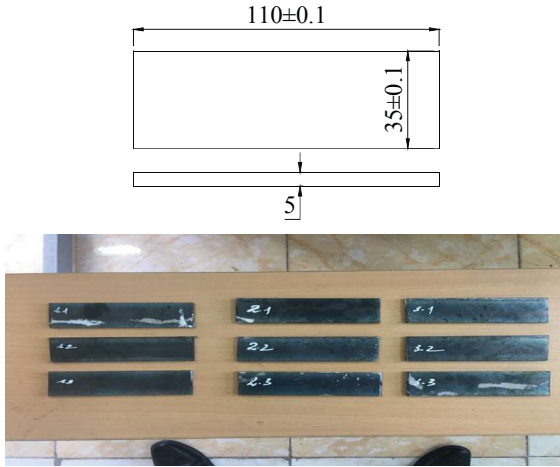
3.2.1 Phôi thực nghiệm

Trong nghiên cứu này sử dụng phôi thực nghiệm làm từ thép tấm SS400 có kích thước dài x rộng x cao tương ứng là: 110mm x 35mm x 5mm như Hình . Với kích thước tấm được lựa chọn làm thực nghiệm có kích thước chiều rộng $b = 35$ mm lớn gấp 7 lần chiều dày $S = 5$ mm của tấm. Khi uốn tấm hoặc dải rộng ($b \gg 3S$) thì biến dạng theo phương ngang hầu như không đáng kể [2], do đó trạng thái biến dạng trong trường hợp này là biến dạng phẳng. Thành phần hóa học của thép tấm SS400 được trình bày trong bảng 1 theo tiêu chuẩn JISG 3101[7].

Bảng 1. Thành phần hóa học thép SS400

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.19 -0.21	0.05-0.17	0.4 – 0.6	0.04	0.05	≤ 0.3

Phôi được gia công trên máy phay ngang (Hình a) để đảm bảo độ chính xác kích thước trước khi đưa vào uốn.



Hình 2: Mẫu phôi thực nghiệm

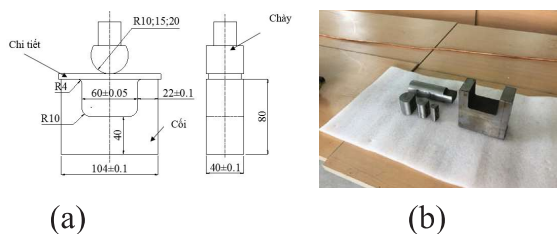


Hình 3. Máy phay ngang (a), Máy kéo/nén HUNGTA-H200A (b)

3.2.2. Máy ép thủy lực

Thực nghiệm được thực hiện trên máy Kéo/nén HUNGTA H-200A của Đài Loan Hình 3.3b.

3.2.3. Khuôn uốn chi tiết hình chữ V



Hình 4. Chày và cối uốn sử dụng cho thực nghiệm

Nghiên cứu sử dụng chày và cối uốn chi tiết hình chữ V như trên Hình. Vật liệu

dùng chế tạo chày và cối là thép hợp kim SKD. Khuôn uốn được gia công trên máy phay CNC 3 trục MCB-850 và máy cắt dây CNC Hình .



Hình 5. Hình ảnh gia công cối uốn trên máy cắt dây CNC GS-450B

Thông số kỹ thuật của máy cắt dây CNC GS-450B được trình bày trong Bảng 1, thông số kỹ thuật của máy phay CNC MCB-850 trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật máy cắt dây CNC GS-4050B

Kích thước bàn máy (mm)	540x800
Hành trình bàn máy (mm)	400x500
Đường kính dây cắt (mm)	0.2
Tốc độ gia công (mm ² /phút)	160
Độ dày cắt max (mm)	400
Độ chính xác gia công (mm)	0.01
Trọng lượng phôi max (kg)	400
Công suất (W)	2000
Nguồn điện	AC 380V/220V

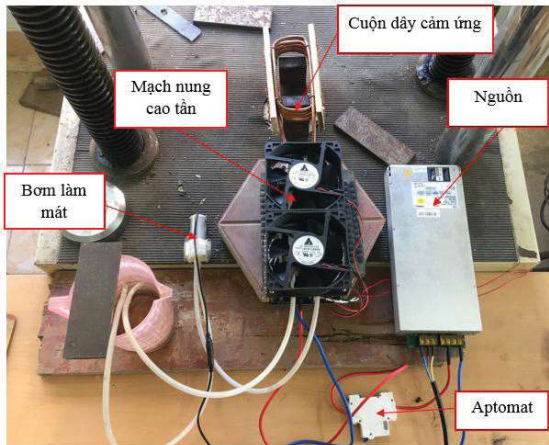
Bảng 3. Thông số kỹ thuật máy phay CNC 3 trục MCB-850

Không gian làm việc X x Y x Z	1000 x 500 x 400mm
Tốc độ trục chính lớn nhất:	8000 vòng/phút
Ô tích dao	16
Độ chính xác:	0,001 mm

3.2.4 Thiết bị gia nhiệt cảm ứng điện từ

Trong nghiên cứu này, thiết bị gia nhiệt sử dụng để nung nóng phôi trước và trong khi gia công là máy nung cao tần. Thiết bị gồm: 01 nguồn điện chuyển từ điện 220V, 18A về dòng DC một chiều 54V, 50A; 01

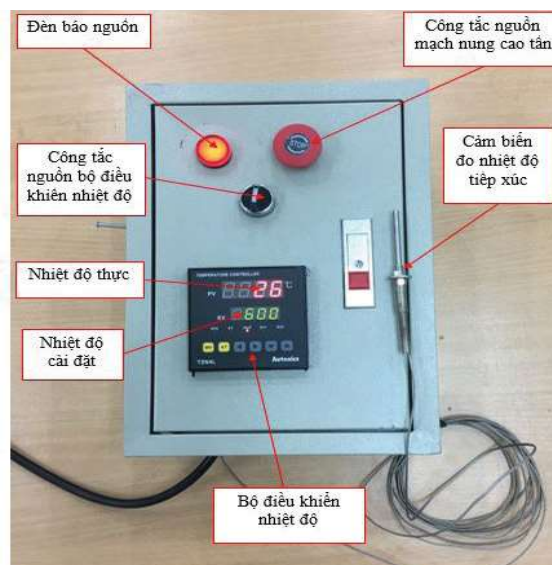
mạch nung cao tần; cuộn dây cảm ứng làm bằng ống đồng rỗng Ø6mm; 01 bơm nước công suất 365w làm mát cho hệ thống như trên Hình 6.



Hình 6. Thiết bị gia nhiệt cảm ứng điện từ

3.2.5. Bộ điều khiển nhiệt độ

Nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu quá trình uốn có gia nhiệt ở điều kiện nhiệt độ không thay đổi (đẳng nhiệt). Để đảm bảo được điều đó, nghiên cứu đã sử dụng một bộ điều khiển nhiệt độ được lắp cùng với mạch nung cao tần Hình .



Hình 7. Bộ điều khiển nhiệt độ Autonic TZN4L

Bộ điều khiển nhiệt độ khi làm việc

sẽ nhận tín hiệu phản hồi từ một cảm biến đo nhiệt độ được đặt trong khu vực nung phôi, khi đạt đến nhiệt độ cần thiết (300°C hoặc 600°C) thì hệ thống sẽ điều khiển ngắt mạch nung, khi nhiệt độ xuống dưới mức nhiệt độ thiết lập thì hệ thống sẽ đóng mạch nung để gia nhiệt cho phôi.

Thông số kỹ thuật bộ điều khiển nhiệt độ Autonic TZN4L [8] sử dụng cho nghiên cứu như sau:

Ngõ vào: tùy chọn K, J, R, E, T, S, N, W, PT100, analog (1-5CDC, 0-10VSC, 4-20mA).

Ngõ ra điều khiển: relay.

Ngõ phụ: event 1.

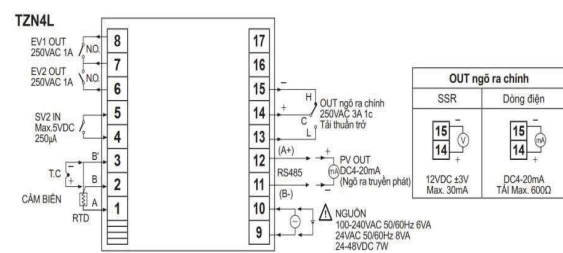
Cách thức điều khiển: ON/OFF, P, PI, PIDF, PIDS.

Phạm vi đo: 0 ~ 2300°C.

Kích thước: (96x96)mm.

Nguồn cấp: (100 – 240)V.

Độ chính xác hiển thị: 0,3%

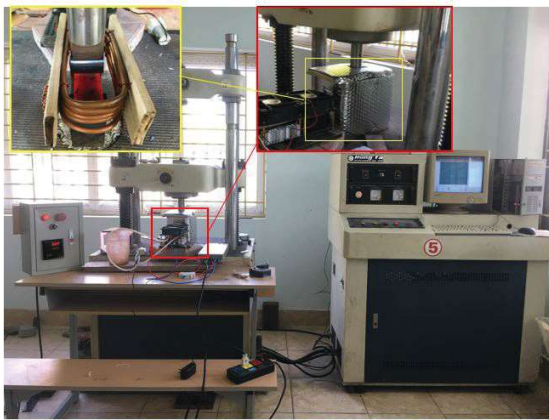


Hình 8. Sơ đồ bộ điều khiển nhiệt độ Autonic TZN4L[8]

3.3. Thực nghiệm uốn khảo sát ảnh hưởng cấu nhiệt độ trong quá trình uốn chi tiết hình chữ V

Trong phần này, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu hiện tượng biến dạng đàn hồi và lực tạo hình khi uốn chi tiết hình chữ V làm từ thép tấm SS400 có kích thước phôi là: 110x35x5 (mm) ở nhiệt độ phòng, 300°C và 600°C. Sơ đồ thực nghiệm cho uốn có gia nhiệt được trình bày trong Hình

3. và thiết lập thực nghiệm như đã trình bày trong phần 3. Nghiên cứu tiến hành làm thực nghiệm uốn chi tiết hình chữ V với hành trình dịch chuyển của chày uốn theo phương thẳng đứng $H = 16\text{mm}$, bán kính chày uốn $R_{ch} = 15\text{mm}$ ở mỗi mức nhiệt độ. Sau khi tiến hành thực nghiệm sẽ xác định các góc uốn của chi tiết sau biến dạng đàn hồi lại và lực uốn tạo hình của các mẫu làm thực nghiệm. Từ đó sẽ đánh giá được sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới lực tạo hình và biến dạng đàn hồi lại sau quá trình tạo hình và hiệu quả của hệ thống gia nhiệt đã thiết kế.



Hình 9. Lắp đặt hệ thống thực nghiệm uốn chi tiết hình chữ V có gia nhiệt bằng cảm ứng điện từ

Hệ thống thiết bị thực nghiệm uốn chi tiết hình chữ V làm từ thép tấm SS400 được thiết kế và lắp đặt như Hình . Khi tiến hành thử nghiệm uốn có gia nhiệt, phôi uốn sẽ được nung nóng đến nhiệt độ cần uốn (300° và 600°) nhờ thiết bị nung cảm ứng điện từ. Để tránh hiện tượng thoát nhiệt ra môi trường xung quanh trong quá trình uốn, toàn bộ chày, cối và phôi uốn được đặt trong một hộp bảo ôn cách nhiệt. Hệ thống làm việc chính xác tại các nhiệt độ cần nung là nhờ bộ điều khiển nhiệt độ được lắp trên hệ thống, bộ điều khiển nhiệt

độ này sẽ giúp duy trì nhiệt độ ổn định cần thiết của phôi trong suốt quá trình uốn.

3.4 Kết quả thực nghiệm

a. Kết quả góc uốn

Kết quả thực nghiệm quá trình uốn chi tiết hình chữ V với $H = 16\text{mm}$ và $R_{ch} = 15\text{mm}$ ở ba mức nhiệt độ khác nhau được thể hiện trong Hình 10 và Bảng 4.



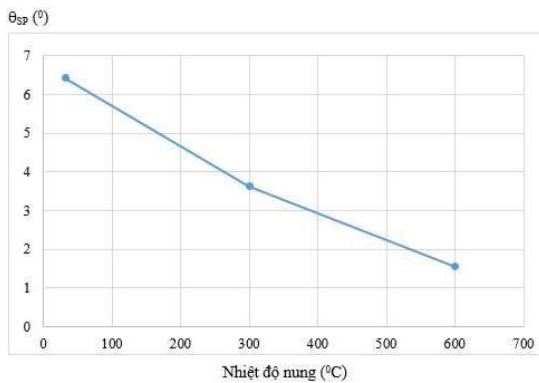
(a) nhiệt độ phòng (b) 300°C (c) 600°C

Hình 10. Hình ảnh sản phẩm uốn hình chữ V ở nhiệt độ phòng (a), 300°C (b) và 600°C (c) với $R_{ch} = 15\text{mm}$, $H = 16\text{mm}$

Bảng 4. Góc biến dạng đàn hồi θ_{sp} sau quá trình uốn chi tiết hình chữ V ở ba mức nhiệt độ khác nhau.

Nhiệt độ uốn (°C)	Góc uốn (°)	Góc uốn chi tiết sau biến dạng đàn hồi $\varphi(^{\circ})$				Góc đàn hồi lại $\theta_{sp} (^{\circ})$
		Mẫu			Trung bình	
		1	2	3		
Nhiệt độ phòng	112	117,67	117,88	119,72	118,423	6,423
300°C		116,2	115,5	115,2	115,63	3,63
600°C		113,15	114	113,5	113,55	1,55

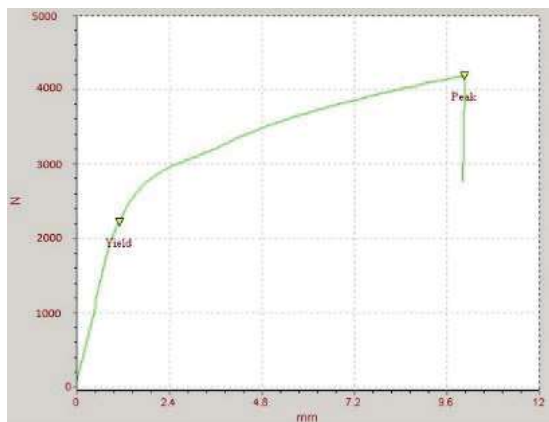
Từ biểu đồ trên Hình 11 và số liệu trong bảng 4 ta thấy, khi nhiệt độ tăng cao thì góc đàn hồi lại càng giảm, giữa nhiệt độ phòng và 600°C giảm tới hơn 4 lần. Điều này cho thấy khi uốn tạo hình ở nhiệt độ cao sẽ giúp kiểm soát độ chính xác biến dạng chi tiết tốt hơn khi ở nhiệt độ phòng.



Hình 11. Biểu đồ so sánh góc biến dạng đàn hồi lại θ_{sp} khi thay đổi nhiệt độ nung

b. Kết quả lực uốn

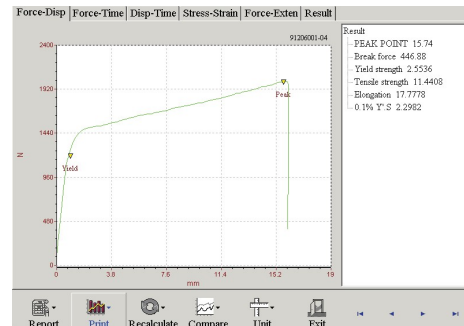
Lực uốn tạo hình cần thiết khi uốn thực nghiệm chi tiết hình chữ V làm từ thép tấm SS400 ở nhiệt độ phòng (32°C), 300°C và 600°C với $R_{ch} = 15\text{mm}$, $H = 16\text{mm}$ được trình bày trong Bảng 5 và Hình 12.



(a) Nhiệt độ phòng



(b) 300°C

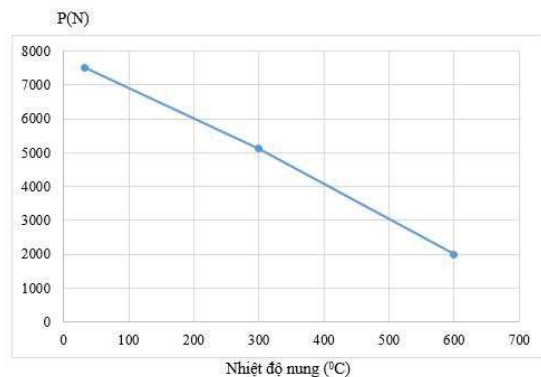


(c) 600°C

Hình 12. Lực uốn tạo hình chi tiết hình chữ V thực nghiệm (a) nhiệt độ phòng, (b) 300°C và (c) 600°C với $R_{ch} = 15\text{mm}$, $H = 16\text{mm}$

Bảng 5. Kết quả lực uốn tạo hình P khi uốn thực nghiệm chi tiết hình chữ V

Nhiệt độ uốn ($^{\circ}\text{C}$)	Lực uốn P (N)			Trung bình
	1	2	3	
Nhiệt độ phòng	7752	7733	7072	7519
300	5278	5042	5028	5116
600	2011	1936	2053	2000



Hình 13. Biểu đồ so sánh lực uốn P khi thay đổi nhiệt độ nung

Từ biểu đồ Hình 13, nhận thấy nhiệt độ càng tăng thì lực tạo hình cần thiết càng giảm và điều này cho thấy hiệu quả của phương pháp uốn có gia nhiệt trong thực tiễn sản xuất, nhất là với các chi tiết làm từ vật liệu có độ cứng cao hoặc độ dày lớn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã thiết kế một hệ thống uốn chi tiết hình chữ V có gia nhiệt bằng cảm ứng điện từ. Từ thiết kế đó đã thực hiện chế tạo thành công hệ thống uốn có gia nhiệt bằng cảm ứng điện từ có công suất đầu ra 2.6kW, tần số ra là 84.10^3 Hz, điện áp đầu ra là 54V và dòng là 50A. Hệ thống gia nhiệt có thể nung các chi tiết có dạng trụ, tấm với các mức nhiệt khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu và kích thước của chi tiết nghiên cứu. Kết quả thực nghiệm cho thấy hiệu quả của việc gia nhiệt cho phôi khi uốn đó là giảm lực uốn, giảm góc đàn hồi lại. Điều này cũng chứng minh hệ thống thiết kế và chế tạo đã hoạt động được theo như dự kiến. Hệ thống có thể sử dụng trong thực tế sản xuất hoặc là học liệu cho sinh viên các ngành cơ khí trong các trường đại học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. S. J. H. Z. Marciniak, J.L. Ducan, (2002), *Mechanics of Sheet Metal Forming*.

2. Nguyễn Mậu Đăng, (2006), *Công nghệ tạo hình kim loại tấm* NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.

3. C. Wang, G. Kinzel, and T. Altan, (1993), *Mathematical modeling of plane-strain bending of sheet and plate*, Journal of Materials Processing Tech., vol. 39, no. 3–4, pp. 279–304.

4. F. STACHOWICZ, T. TRZEPICIEŃSKI, and T. PIEJA, (2010), *Warm forming of stainless steel sheet*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 10, no. 4, pp. 85–94.

5. H. C. Kuo and L. J. Wu, (2002), *Automation of heat bending in shipbuilding*, Computers in Industry, vol. 48, no. 2, pp. 127–142.

6. Vương Gia Hải, (2020), “Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt trong quá trình uốn thép tấm để chế tạo một số chi tiết tàu thủy”, Luận án Tiến Sĩ tại Đại học Bách khoa Hà Nội.

7. G. Jis and G. Jis, *JIS G3101 SS400 steel plate / sheet for general purpose structural steels*, p. 86011881.

8. Công ty TNHH Thương mại Kỹ thuật điện Đại Hòa Phú, Thông tin chi tiết sản phẩm bộ điều khiển nhiệt độ Autonics TZN4L, <https://daihoaphu.vn/san-pham/bo-dieu-khien-nhiet-do-autonics-tzn4l>