

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ, BÁN KÍNH CHÀY VÀ LỰC CHẶN PHÔI ĐẾN LỰC TẠO HÌNH KHI UỐN CHI TIẾT HÌNH CHỮ U THÉP TẮM SS400 BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN
STUDY ON THE EFFECTS OF TEMPERATURE, PUNCH RADIUS AND BLANK HOLDER FORCE ON FORMING FORCE DURING U-BENDING SS400 STEEL PLATE BY FINITE ELEMENT METHOD

VƯƠNG GIA HẢI^{1,2*}, NGUYỄN THỊ HỒNG MINH¹, NGUYỄN ĐỨC TOÀN¹

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

²Trường Đại học Hải Phòng, Số 171 Phan Đăng Lưu, Kiến An, Hải Phòng

Email liên hệ: vuonghai84@gmail.com

Tóm tắt

Biến dạng tạo hình kim loại tấm là một phương pháp gia công cơ bản trong lĩnh vực cơ khí. Trong đó, gia công biến dạng uốn là một phương pháp gia công phổ biến được ứng dụng rộng rãi để tạo hình các chi tiết làm từ tấm kim loại như: công nghiệp hàng không, đóng tàu, ô tô,... Khi biến dạng tạo hình uốn tấm kim loại, lực tạo hình là thông số rất quan trọng cần được xác định để đảm bảo khả năng đủ tải của thiết bị gia công. Giá trị lực này sẽ thay đổi tùy theo điều kiện gia công khác nhau, dạng chi tiết khác nhau, vật liệu được dùng để gia công,... Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nung phôi, bán kính chày uốn và lực chặn phôi đến lực uốn khi tạo hình chữ U cho vật liệu thép tấm SS400 bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa: Nhiệt độ nung phôi, thép tấm SS400, Taguchi, gia công biến dạng uốn.

Abstract

Sheet metal forming process is a basic deformation method in the mechanical field. In particular, bending deformation processing is a universal processing method which is widely used to form sheet metal parts such as aviation industry, shipbuilding, automotive and so on. During sheet metal bending process, the forming force is a very important output parameter that needs to be determined to ensure the load capacity of a machining equipment. This forming force magnitude will vary according to machining conditions, Geometric shapes of products, sheet materials, etc. This study examines the influence of technological and geometric parameters such as: workpiece temperature, punch radius and blankholder force to bending force when forming U-shape of SS400 sheet material.

Keywords: Workpiece temperature SS400 steel sheet, Taguchi, bending process.

1. Mở đầu

Hiện nay thép tấm đã và đang được sử dụng rất rộng rãi trong gia công kết cấu thép và tàu thuyền. Có rất nhiều công nghệ gia công khác nhau được ứng dụng trong gia công tấm như: Cắt gọt, hàn, lóc, uốn, sán,... [1], [2]. Trong các sản phẩm làm từ thép tấm thì các chi tiết có biên dạng cong được gia công bằng công nghệ uốn chiếm một tỷ trọng khá lớn. Lực tạo hình các chi tiết được gia công bằng phương pháp uốn thường chịu ảnh hưởng rất lớn từ các thông số công nghệ như: Bán kính chày uốn, lực chặn phôi, chiều dày chi tiết, vận tốc chày uốn, nhiệt độ gia nhiệt khi uốn,... Việc xác định được một bộ các thông số công nghệ phù hợp là hết sức cần thiết, nó có thể giúp cho nhà sản xuất tiết kiệm tối đa được chi phí sản xuất mà vẫn đem lại hiệu quả kinh tế cao. Để xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ đó, hiện nay nhiều nghiên cứu đã áp dụng phương pháp Taguchi [3], [4], [5] và đã đem lại hiệu quả rất tốt.

Trong nghiên cứu này, phương pháp quy hoạch Taguchi đã được sử dụng nhằm khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ như: Nhiệt độ nung phôi, bán kính chày uốn và lực chặn phôi đến lực tạo hình khi uốn chi tiết hình chữ U làm từ thép tấm SS400. Với mục đích chính là giảm lực tạo hình khi uốn, nghiên cứu này sử dụng phần mềm Abaqus để mô phỏng các thí nghiệm uốn theo ba cấp độ cho mỗi yếu tố thông qua mảng trực giao Taguchi L9 (3 ^ 3)[6].

2. Vật liệu và mô hình vật liệu

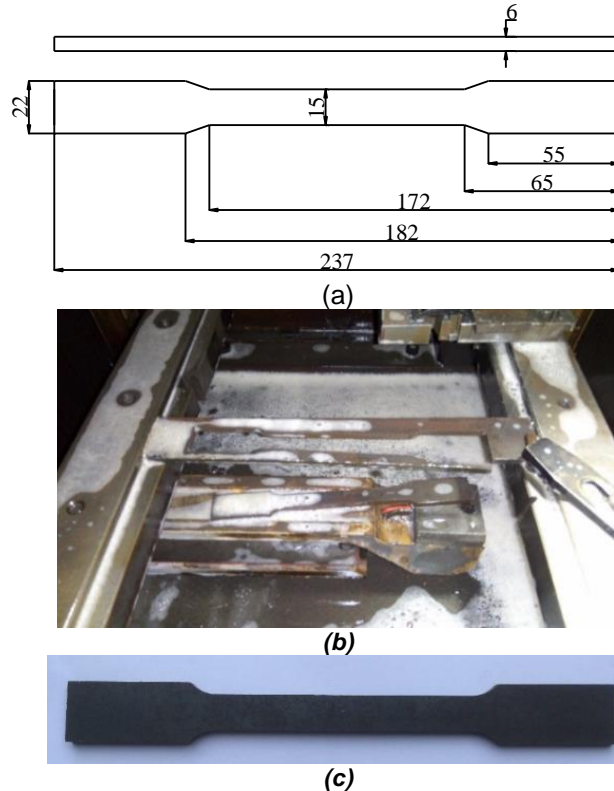
2.1. Thiết lập thí nghiệm cơ bản

Thí nghiệm này xác định các hệ số cơ bản trong mô hình vật liệu Voce's [9] để làm đầu vào cho thí nghiệm mô phỏng xác định lực uốn tạo hình. Vật liệu được sử dụng cho nghiên cứu này là thép tấm SS400, theo tiêu chuẩn JISG 3101[7] có thành phần hóa học như Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học thép SS400

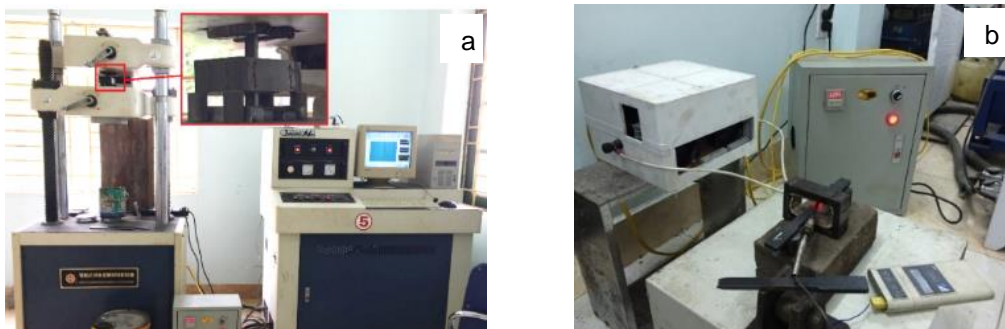
C	Si	Mn	P	S	Cr
0,19-0,21	0,05-0,17	0,4-0,6	0,04	0,05	≤0,3

Trong nghiên cứu này cơ tính của vật liệu sẽ được xác định ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau là: nhiệt độ phòng (32°C), 300°C và 600°C. Các mẫu thử kéo được gia công bằng cắt dây theo hướng cán của tấm thép dày 6 mm. Sau khi cắt dây mẫu thử kéo được xử lý qua bằng giấy giáp. Kích thước mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn của nhà nước TCVN 197-85(197-2000) [8], mẫu có kích thước và hình dạng như Hình 1 (a). Hình 1 (b) và (c) tương ứng là mẫu thử kéo khi gia công cắt dây CNC và sau xử lý bề mặt bằng giấy ráp.



Hình 1. Mẫu thử kéo thiết kế (a), gia công trên máy cắt dây CNC (b) và sau xử lý bề mặt (c)

Thử nghiệm kéo cho các mẫu được thực hiện tại các điều kiện nhiệt độ khác nhau trên máy kéo nén Hung Ta H-200A (Hình 2a). Để xác định nhiệt độ của các mẫu khi kéo, quan hệ phụ thuộc giữa thời gian gia nhiệt và nhiệt độ được tiến hành trước khi kéo (Hình 2b). Kết quả phụ thuộc giữa thời gian và nhiệt độ gia nhiệt cho 8 mẫu được thể hiện trong Hình 3 cho thấy mức độ ổn định của thời gian gia nhiệt đến nhiệt độ phiêu sau khi nung. Quá trình thử kéo có gia nhiệt và gá đặt bộ gia nhiệt trên thiết bị được thể hiện trong Hình 2a.



Hình 2. Hệ thống thử kéo có gia nhiệt (a), Thiết bị gia nhiệt (b)

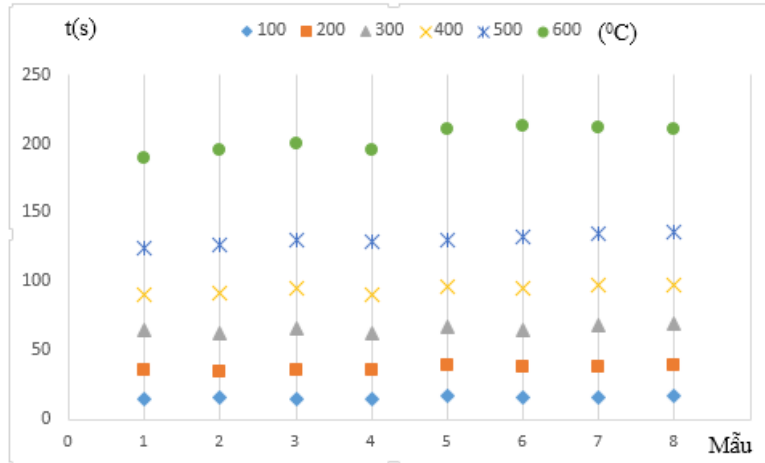
2.2. Nhận dạng các thông số của mô hình vật liệu

Kết quả thực nghiệm thử kéo ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau được thể hiện trong Hình 4. Để nhận dạng các thông số của mô hình vật liệu tương thích phù hợp với các dữ liệu sau khi thử kéo theo quy luật hóa bền của Voce's [9], các đường cong ứng suất - biến dạng công thức (1) được sử dụng. Phần mềm Excel 2013 với công cụ SOLVER dựa trên phương pháp tổng bình phương sai lệch nhỏ nhất để tìm ra các hệ số của phương trình (1) được trình bày trong Bảng 2. Các hệ

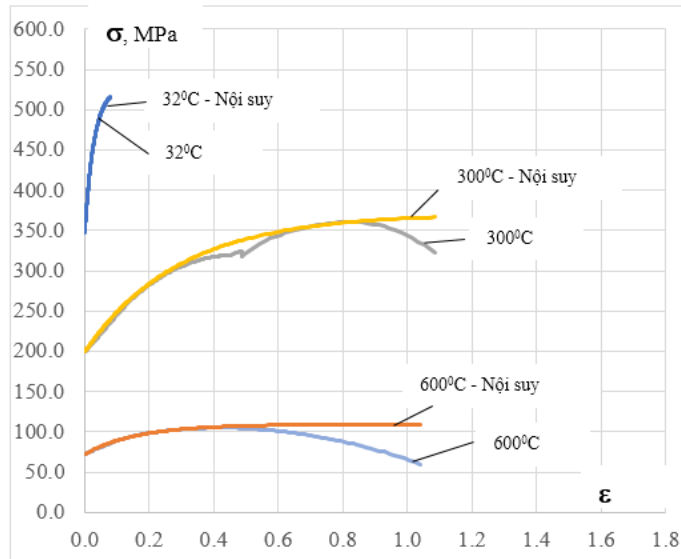
số thu được sẽ được sử dụng để khai báo trong mô hình vật liệu đầu vào khi thực hiện các mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus.

$$\bar{\sigma} = \sigma_y + A(1 - \exp(-B\varepsilon_{eq}^n)) \quad (1)$$

Trong đó: σ_y là giới hạn chảy, A và B là các tham số hóa bền vật liệu, $\bar{\sigma}$ là ứng suất tương đương, ε_{eq}^n là biến dạng tương đương. Các tham số khác sử dụng cho mô phỏng dự đoán lực tạo hình uốn ở các điều kiện khác nhau được thể hiện trong Bảng 3.



Hình 3. Biểu đồ quan hệ nhiệt độ và thời gian gia nhiệt



Hình 4. Biểu đồ ứng suất - biến dạng tại các nhiệt độ khác nhau cho các tấm vật mẫu

Bảng 2. Các tham số hóa bền vật liệu ở các mức nhiệt độ khác nhau theo quy luật Voce's

Nhiệt độ (°C)	σ_y	A	B
32	348	188,86	28,3293
300	199,3	171,56	3,452
600	72,43	36,89	6,0145

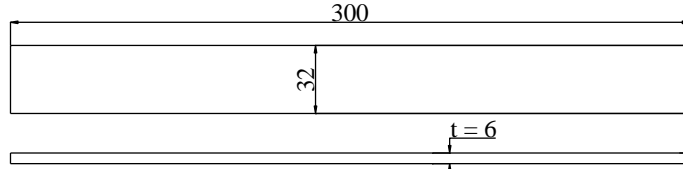
Bảng 3. Các tham số thuộc tính vật liệu dùng cho mô phỏng số

Thông số	Nhiệt độ (°C)	Tốc độ uốn (mm/s)	Độ dày phôi (mm)	Hệ số Poisson's	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Hệ số mô đun đàn hồi (MPa)
Các mức	32	1	6	0,3	7.850	213.000
	300	1	6	0,3	7.850	184.410
	600	1	6	0,3	7.850	107.640

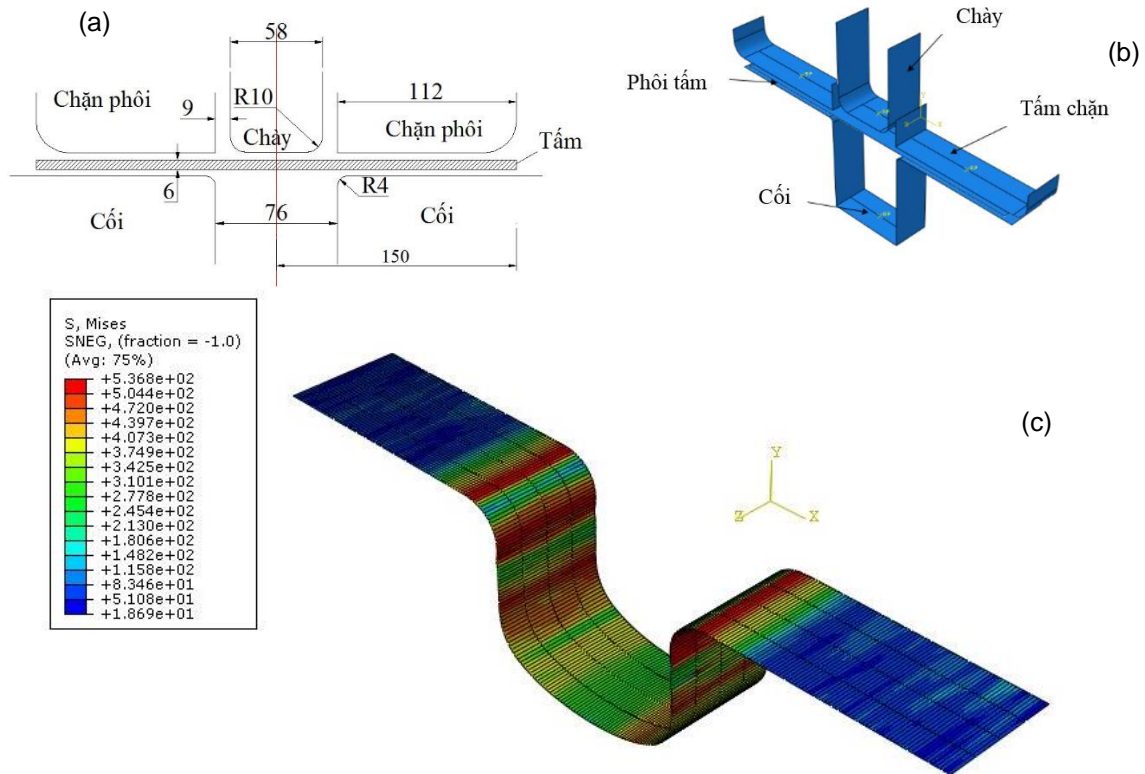
3. Mô phỏng quy hoạch theo mảng trực giao Taguchi

3.1. Mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình thí nghiệm uốn chi tiết hình chữ U (Hình 6a,b), trong đó chày, cối và tấm chặn được mô phỏng bằng các yếu tố bề mặt cứng R3D4 và các yếu tố vỏ S4R được sử dụng cho các tấm. Trong mô hình mô phỏng này, các yếu tố kích thước trung bình của tấm là 300mm (chiều dài) x 32 mm (chiều rộng) Hình 5. Khe hở giữa chày và cối là 9mm, tấm mô phỏng dày $t=6\text{mm}$.



Hình 5. Chi tiết dùng trong mô phỏng



Hình 6. Mô hình phần tử hữu hạn uốn chi tiết chữ U dạng 2D (a), dạng 3D (b), chi tiết sau khi mô phỏng (c)

Để dự đoán ảnh hưởng của nhiệt độ, bán kính chày uốn và lực chặn phôi đến lực tạo hình khi uốn tấm SS400, các dữ liệu đã thu được từ kết quả thí nghiệm kéo và tính toán trên được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho quá trình mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn qua phần mềm (ABAQUS/Explicit). Mô hình biến dạng tạo hình uốn được thể hiện như trong Hình 6c. Khi mô phỏng, khuôn dưới được cố định và khuôn trên chỉ có thể di chuyển theo phương thẳng đứng. Hệ số ma sát được mô hình hóa bằng cách sử dụng luật ma sát Coulomb. Để mô phỏng đàn hồi sau quá trình biến dạng tạo hình, quá trình biến dạng chữ U đầu tiên thực hiện theo hai bước với Abaqus/Explicit. Lực trên tấm chặn đã được áp dụng trong bước đầu tiên của việc phân tích. Các lực đẩy của chày được tăng lên đều để giảm thiểu hiệu ứng quán tính. Trong bước thứ hai của việc phân tích chày di chuyển xuống 55mm theo phương thẳng đứng (phương Y). Phân tích đàn hồi sau biến dạng tạo hình sau đó đã được mô phỏng với Abaqus/Standard. Các kết quả từ sự hình thành mô phỏng trong Abaqus/Explicit được nhập vào Abaqus/Standard, và một phân tích tĩnh tính toán đàn hồi ngược. Trong bước này một trạng thái ứng suất nhân tạo làm cân bằng trạng thái ứng suất nhập vào được áp dụng tự động bởi Abaqus/Standard và dần dần bị loại bỏ trong các bước. Sự thay đổi hình dạng sản phẩm thu được vào cuối của bước là đàn hồi sau biến dạng tạo hình.

3.2. Quy hoạch theo mảng trực giao Taguchi

Mục đích của nghiên cứu này là điều chỉnh các thông số đầu vào để kiểm soát thông số đầu ra theo mong muốn. Do đó, phương pháp Taguchi đã được lựa chọn sử dụng cho phép tối thiểu các thí nghiệm cần thiết để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đặc tính đầu ra và nhanh chóng điều chỉnh các thông số đầu vào tiến đến tối ưu nhanh nhất giá trị đầu ra [6].

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của các tham số: Nhiệt độ nung phôi (°C), bán kính chày uốn (mm) và lực chặn của phôi (N) đến lực tạo hình khi uốn có gia nhiệt. Bộ ba thông số được lựa chọn với ba mức giá trị khác nhau được cho trong Bảng 4. Tỷ lệ nhiễu S/N được lựa chọn theo điều kiện nhỏ hơn thì tốt hơn phương trình (2).

$$S/N = -10\text{Log}_{10}(\text{MSD}) \tag{2}$$

$$\text{MSD} = \frac{(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)}{n} \tag{3}$$

Trong đó MSD là độ lệch bình phương trung bình so với giá trị đích của đặc tính chất lượng; y_1, y_2, \dots, y_n , n là kết quả đo và số thí nghiệm tương ứng.

Sau khi thiết lập các điều kiện cho mô phỏng các thí nghiệm tương ứng, nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng 9 thí nghiệm. Kết quả đo đạc cho 9 mẫu thí nghiệm mô phỏng theo Taguchi L9 (3³) được cho trong Bảng 5. Ảnh hưởng của các tham số: Nhiệt độ (A(T)), bán kính chày (B(R_{ch})) và lực chặn phôi (C(F)) đến lực uốn được tính toán và phân tích phương sai (Anova) như trong Bảng 6.

Bảng 4. Các thông số công nghệ dùng cho mô phỏng

TT	Thông số	Các mức		
		Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	T- Nhiệt độ (°C) (A)	32	300	600
2	R _{ch} - Bán kính chày (mm) (B)	10	18	26
3	F - Lực chặn phôi (N) (C)	12.000	18.000	24.000

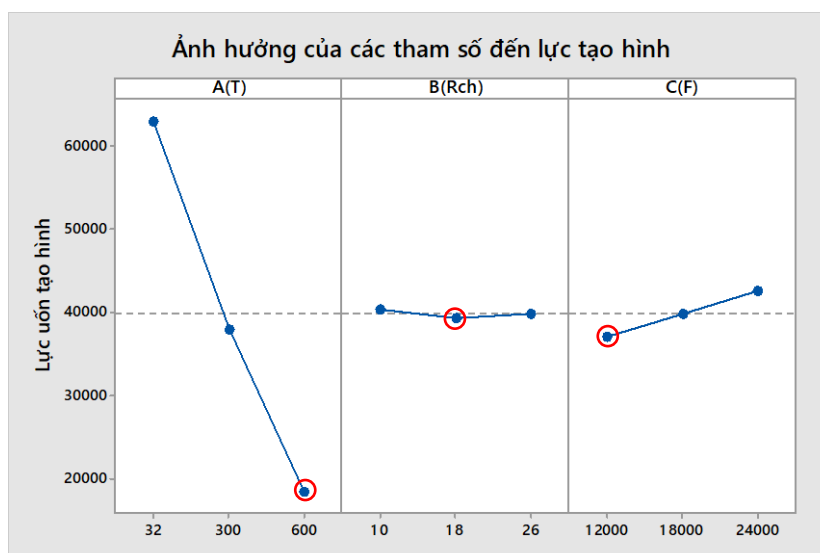
Bảng 5. Kết quả đo và tỷ số S/N theo L9

STT	A(T)	B(R _{ch})	C(F)	P _{MP} (N)	S/N _{MP}
1	32	10	12.000	60.138,2	-95,583
2	32	18	18.000	62.315,3	-95,8919
3	32	26	24.000	66.267,8	-96,4261
4	300	10	18.000	38.948,3	-91,8098
5	300	18	24.000	39.480,3	-91,9276
6	300	26	12.000	35.046,1	-90,8928
7	600	10	24.000	21.691,2	-86,7257
8	600	18	12.000	15.859,6	-84,0058
9	600	26	18.000	17.999,9	-85,1054

Bảng 6. Phân tích ANOVA cho ảnh hưởng của các tham số

Tham số	Giá trị S/N trung bình ở các mức			Tổng bình phương	Phân bố
	1	2	3		
A (T)	-95,97	-91,54	-85,28*	173,045	97,33
B (R_{ch})	-91,37	-90,61*	-90,81	0,943	0,53
C (F)	-90,16*	-90,94	-91,69	3,523	1,98
Err.				0,283	0,16
Tổng				177,794	100

Nghiên cứu này tiến hành xử lý số liệu thực nghiệm bằng phần mềm MINITAB17. Với 3 thông số nhiệt độ nung phôi A(T), bán kính chày B(R_{ch}) và lực chặn phôi C(F). Mỗi một thông số sẽ có 3 mức tác động như sau: Nhiệt độ (32°C, 300°C, 600°C); Bán kính chày (10mm, 18mm, 26mm); Lực chặn phôi (12.000N, 18.000N, 24.000N). Phần mềm này cho phép lựa chọn quy hoạch Taguchi L9 (3³) với 9 thí nghiệm mô phỏng (Bảng 5) như là một quy hoạch chuẩn. Phân tích phương sai Anova (bảng 6) cho ta kết quả như sau: Ảnh hưởng của nhiệt độ tới lực uốn chiếm 97,33%, ảnh hưởng của bán kính chày là 0,53%, ảnh hưởng của lực chặn phôi là 1,98% và 0,16% nhiễu. Kết quả này cho ta hai nhận xét quan trọng như sau: (1) Khi xét các yếu tố ảnh hưởng tới lực uốn (A(T), B(R_{ch}), C(F)) thì ảnh hưởng của nhiễu đến kết quả là rất nhỏ (chỉ 0,16%). (2) Ảnh hưởng của nhiệt độ tới lực uốn là lớn nhất (chiếm 97,33%), tức là ảnh hưởng của hai thông số còn lại (B(R_{ch}), C(F)) rất nhỏ và hầu như không làm thay đổi giá trị lực uốn, trong khi nhiệt độ càng lớn thì giá trị lực uốn càng nhỏ đi. Điều này cũng hoàn toàn đúng với lý thuyết và kiểm nghiệm trong thực tế.



Hình 7. Ảnh hưởng của các tham số đến lực uốn

Sau khi xây dựng mô phỏng theo quy hoạch Taguchi L9 (3³), ta thu được kết quả (Hình 7). Ứng với kết quả này theo công thức (3) xét theo các yếu tố đơn lẻ ta thấy rằng: Giá trị nhiệt độ A(T) = 600°C sẽ có lực uốn nhỏ nhất; giá trị bán kính B(R_{ch})=18mm sẽ cho giá trị lực uốn nhỏ nhất và giá trị lực chặn phôi C(F)=12.000N lực uốn sẽ nhỏ nhất. Do vậy bộ thông số lựa chọn theo các thông số A(T), B(R_{ch}) và C(F) đưa ra (9 thông số) là: (A(T), B(R_{ch}) và C(F))=(600°C, 18mm, 12.000N). Đây là bộ thông số tối ưu thu được từ 9 thông số đưa ra (thí nghiệm số 8 trong Bảng 5).

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng một hệ thống thử kéo có gia nhiệt và thực nghiệm kéo mẫu thép tấm SS400 tại ba điều kiện nhiệt độ khác nhau (32°C, 300°C, 600°C). Đã xây dựng được biểu đồ so sánh ứng suất - biến dạng tại ba điều kiện nhiệt độ khác nhau (Hình 4). Xây dựng mô phỏng thực nghiệm Taguchi L9 (3³) với các thông số công nghệ: nhiệt độ nung phôi, bán kính chày, lực chặn phôi thay đổi đã được tiến hành để đánh giá ảnh hưởng của các tham số đầu vào đến lực tạo hình khi uốn chữ U bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả mô phỏng và phân tích số liệu đã chỉ ra rằng điều kiện gia công: nhiệt độ nung phôi 600°C, bán kính chày 18mm và lực chặn phôi là 12.000N sẽ cho giá trị lực tạo hình uốn là nhỏ nhất P=15.859,6N. Phân tích Anova cho thấy rằng trong ba tham số công nghệ A(T), B(R_{ch}) và C(F) thì tham số A(T) có ảnh hưởng lớn nhất tới lực tạo hình (97,33%), hai tham số còn lại có ảnh hưởng nhỏ hầu như không đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. J. H. Z. Marciniak, J.L. Ducan, *Mechanics of Sheet Metal Forming*. 2002.
- [2] N. M. Đăng, '*Công nghệ tạo hình kim loại tấm*'. NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 2006.
- [3] K. Li and Q. Kh, '*Áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trong nghiên cứu chế tạo vật liệu Blend ba cấu tử trên cơ s Nbr - Pvc - Cr*', vol. 49, no. 6, pp. 39-45, 2011.
- [4] B. Ng and V. Hoàng, '*Effect of feed rate , toolpath and step over on geometric accuracy of freeform surface when 3 axis CNC milling*', vol. 9, no. May, pp. 576-584, 2018.
- [5] N. Duc-Toan, Y. Seung-Han, J. Dong-Won, B. Tien-Long, and K. Young-Suk, '*A study on material modeling to predict spring-back in V-bending of AZ31 magnesium alloy sheet at various temperatures*', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 62, no. 5-8, pp. 551-562, 2012.
- [6] G. Taguchi, *On-line quality control during production*, 1981 (Japan Standard Association, Tokyo).
- [7] G. Jis and G. Jis, '*JIS G3101 SS400 steel plate sheet for g eneral purpose structural steels*', pp. 86011881.
- [8] M. M.-T. T. P. 1-2. TCVN 197: 2002, 'TCVN 197'.
- [9] E. Voce, '*The relationship between stress and strain for homogeneous deformation*', *J Inst Met*, 1948.

Ngày nhận bài: 21/8/2019
 Ngày nhận bản sửa: 24/9/2019
 Ngày duyệt đăng: 29/10/2019