

XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ TỐI ƯU CỦA QUÁ TRÌNH GIA CÔNG VẬT LIỆU TẤM SUS 304 ĐẾN THỜI GIAN GIA CÔNG BẰNG CÔNG NGHỆ SPIF

Võ Văn Lương¹, Võ Tuyền^{2*}, Đinh Lê Cao Kỳ²

¹Công ty TNHH Thương mại & Kỹ thuật Lương Võ, TP.HCM

²Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: tuyenvo@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/8/2021; Ngày chấp nhận đăng: 26/11/2021

TÓM TẮT

Với mục đích xác định giá trị tối ưu cho các thông số công nghệ từ kết quả thực nghiệm khi đánh giá khả năng tạo hình thông qua thời gian gia công trong quá trình gia công vật liệu tấm SUS 304 bằng công nghệ SPIF. Bài báo đã tiến hành thực nghiệm thu thập các thông số và quy hoạch thực nghiệm thiết lập mô hình toán; đồng thời, xác định được giá trị tối ưu cho các thông số của quá trình gia công như đường kính dụng cụ, bước tiến dụng cụ và tốc độ chạy dụng cụ ảnh hưởng trực tiếp tới thời gian gia công. Các thông số công nghệ tối ưu có khả năng ứng dụng thực tiễn để nâng cao hiệu quả và năng suất của quá trình gia công đối với vật liệu kim loại tấm SUS 304 nói riêng và các vật liệu kim loại tấm khác nói chung.

Từ khóa: Thực nghiệm, tối ưu, thời gian gia công, thông số tạo hình, công nghệ SPIF.

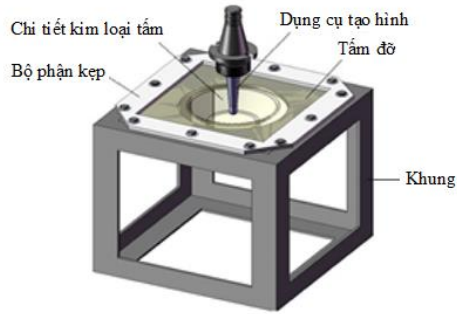
1. GIỚI THIỆU

Trong sản xuất, đặc biệt trên các máy tự động, thời gian gia công (thời gian máy) là một nhiệm vụ quan trọng để xác định năng suất gia công và lập quy trình công nghệ. Với yêu cầu thời gian gia công là cực tiểu, nội dung bài báo sẽ xác định các thông số gia công tạo hình tối ưu đến thời gian gia công.

Ở thời điểm hiện tại, các nghiên cứu về công nghệ tạo hình cục bộ liên tục đơn điểm (Single Point Incremental Forming - SPIF) chủ yếu tập trung vào các khía cạnh của quá trình gia công như máy, thiết bị, dụng cụ tạo hình, các thông số ảnh hưởng đến quá trình gia công (đường kính dao, chiều dày tấm, vận tốc quay trục chính, điều kiện tiếp xúc, loại vật liệu v.v.). Các nghiên cứu hầu hết áp dụng đối với các vật liệu tấm có độ cứng, độ bền thông thường như thép, nhôm, nhựa nhiệt dẻo v.v., còn với vật liệu tấm có độ cứng, độ bền cao như thép không gỉ, titan, v.v. chỉ mới bắt đầu được nghiên cứu, do các vật liệu này rất khó biến dạng và tạo hình vì khả năng đàn hồi cao. Do đó, nếu chúng ta xác định được các thông số công nghệ chính phù hợp cho vật liệu này thì có thể ứng dụng công nghệ SPIF để gia công chúng. Do đó, bài báo “Xác định thông số tối ưu của quá trình gia công vật liệu tấm SUS 304 đến thời gian gia công bằng công nghệ SPIF” được đặt ra để giải quyết bài toán trên.

Trong công nghệ SPIF, lực tác dụng trên một bên mặt của tấm gia công còn mặt kia để biến dạng tự do (giống công nghệ miết nhưng không cần khuôn) và tấm không xoay tròn mà dụng cụ tạo hình sẽ có chuyển động tạo hình. Phương pháp này không cần dùng khuôn có hình dạng của sản phẩm mà chỉ cần có tấm tựa dưới có hình dạng đơn giản thường có dạng là chu vi của sản phẩm và tấm kẹp trên để cố định phôi tấm cần tạo hình (Hình 1). Toàn bộ đồ gá đơn giản, cố định thành một khối. Dụng cụ tạo hình cũng đơn giản có dạng hình trụ có đầu hình

bán cầu thực hiện chuyển động phức tạp nhờ máy điều khiển số CNC.



Hình 1. Sơ đồ tạo hình bằng công nghệ SPIF [1, 2]

Thép không gỉ SUS 304 là loại thép không quá cứng, dễ biến dạng và được sử dụng rất phổ biến trong công nghiệp: chậu rửa, chảo, nồi, quạt ly tâm, tấm chắn carter, khung thang máy, v.v. SUS 304 có khả năng tạo hình rất tốt, nó có thể dát mỏng mà không cần gia nhiệt. Điều này làm cho loại thép này được dùng phổ biến trong lĩnh vực sản xuất các chi tiết thép không gỉ.

2. THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM

2.1. Máy gia công

Máy tạo hình chuyên dụng SPIF sử dụng hệ điều khiển JSK (hình 2) đặt tại phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống, Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia TP.HCM. Máy có độ cứng vững tốt nên có thể dùng để tạo hình các sản phẩm dầy, vật liệu cứng như thép, thép không gỉ...



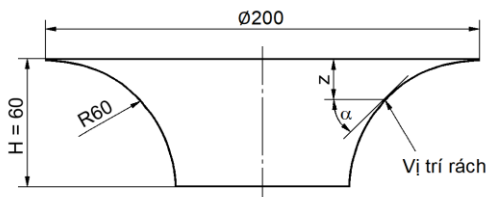
Hình 2. Máy chuyên dùng SPIF 2 trụ dùng trong thực nghiệm

2.2. Dụng cụ tạo hình

Dụng cụ tạo hình có cấu tạo như một dao phay ngón, đầu hình bán cầu, không từ có lưỡi cắt, dụng cụ làm bằng vật liệu thép gió với các kích thước có đường kính $\text{Ø}5 - \text{Ø}10$, dụng cụ được gia công bằng cách mài các đầu côn và đầu hình cầu trên các đồ gá tự chế nhằm bảo đảm độ chính xác hình học và kích thước của dụng cụ.

2.3. Thiết kế mẫu thử

Mẫu thử là tấm kim loại hay nhựa được thiết kế với 2 loại hình dạng như chiếc loa miệng to ở phía trên. Mẫu côn cong có biên dạng trong tiết diện hình chiếu đứng là một cung tròn được thiết kế để dễ dàng tính góc tạo hình lớn nhất α đạt được khi tấm bị rách. Đường kính lớn nhất của mẫu được chọn là $\varnothing 200$, cho phép chọn phôi có kích thước 250×250 mm (Hình 3).



Hình 3. Mô hình côn cong và các thông số của mẫu thử [3, 4]

Do góc tạo hình hiện nay chưa thể vượt qua mức giới hạn là $\alpha_0 = 90^\circ$ nên biên dạng của mẫu được chọn có hình loa, bán kính cong là $R = 60$ mm như thể hiện trên Hình 3.

2.4. Lựa chọn thông số thực nghiệm

Với sự kết hợp giữa kinh nghiệm thực tế, cơ tính của thép không gỉ SUS 304 và hệ thống công nghệ của máy tạo hình SPIF chuyên dụng, lựa chọn các thông số tạo hình giới hạn phù hợp với vật liệu SUS 304 như sau:

- Đường kính dụng cụ (X_1): ảnh hưởng đến năng suất gia công.
- Bước tiến dụng cụ (X_2): ảnh hưởng đến năng suất gia công và chất lượng bề mặt gia công.
- Tốc độ chạy dụng cụ (X_3): ảnh hưởng đến năng suất gia công và chất lượng bề mặt gia công.

Bảng 1 giới thiệu các thông số tạo hình được lựa chọn cho thép không gỉ SUS 304.

Bảng 1. Lựa chọn các thông số tạo hình thích hợp cho thép không gỉ SUS 304

Đường kính của dụng cụ D [mm]	Mức thấp: 5, Mức cao: 9
Bước tiến dụng cụ S_z [mm]	Mức thấp: 0,2; mức cao: 0,6
Vận tốc tiến dụng cụ, v_{xy} [mm/ph]	Mức thấp: 800; Mức cao: 3000
Tốc độ vòng quay trục chính, n [vg/ph]	800
Chiều dày vật liệu tấm [mm]	0,4

Các thông số đầu ra cần được chọn sao cho phù hợp với yêu cầu về chất lượng và độ chính xác tạo hình tấm SUS 304 bằng SPIF, đồng thời có thể đo lường được chính xác các kết quả thực nghiệm và kiểm tra kết quả với các phương pháp khác nên các thông số đầu ra cùng với các yêu cầu tối ưu hóa được chọn như sau:

- Khả năng tạo hình mà đại diện là góc biến dạng lớn nhất α với yêu cầu cực đại.
- Độ chính xác hình học thông qua lượng hồi phục (springback) theo phương hướng kính ΔD với yêu cầu cực tiểu.
- Năng suất tạo hình thông qua thời gian chạy máy t với yêu cầu cực tiểu.

Sau đây, nội dung bài báo sẽ giới hạn ở việc xác định các thông số gia công tạo hình tối ưu đến thời gian gia công với yêu cầu nhỏ nhất.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1. Kế hoạch thực nghiệm bậc hai

Phương án thực nghiệm bậc hai được chọn có dạng phương án bậc hai quay. Tính chất quay của phương án cấu trúc có tâm sẽ đạt được khi chọn cánh tay đòn sao (*) theo công thức [5]:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2^{k/4} \\ &= 2^{3/4} = 1,682 \end{aligned} \quad (1)$$

với: k – số yếu tố nghiên cứu, $k = 3$

Khoảng biến thiên và giá trị các thông số đầu vào được cụ thể hóa trong Bảng 2.

Bảng 2. Mức và khoảng biến thiên các yếu tố đầu vào

Mức		Thông số		
		X_1	X_2	X_3
Điểm sao (*) dưới	-1,682	2,66	0,13	3,64
Mức dưới	-1	3	0,4	5
Mức cơ sở	0	3,5	0,8	7
Mức trên	+1	4	1,2	9
Điểm sao (*) trên	1,682	4,34	1,47	10,64
Khoảng biến thiên		0,5	0,4	2

3.2. Lập ma trận thực nghiệm

Ma trận thực nghiệm bậc hai theo phương án quay, số lượng thực nghiệm được xác định theo công thức [5]:

$$\begin{aligned} N &= 2^k + 2k + n_0 \\ &= 2^3 + 2 \times 3 + 6 = 20 \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó: k – số yếu tố nghiên cứu, $k = 3$

2^k – số lượng thực nghiệm ở mức trên và mức dưới

$2k$ – số lượng thực nghiệm ở mức điểm sao (*)

n_0 – số lượng thực nghiệm lặp ở mức cơ sở, $n_0 = 6$

Với kế hoạch thực nghiệm bậc hai, đa thực bậc hai có dạng mã hóa như sau:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j>1}}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (3)$$

trong đó: x_i, x_j – giá trị mã hóa của các thông số X_i, X_j

b_0 – hệ số tự do

b_i – các hệ số tuyến tính

$b_{ij} (i \neq j)$ – các hệ số tương tác cặp

b_{ii} – các hệ số bậc hai

k – số yếu tố nghiên cứu

Giá trị mã hóa x_i của các thông số được tính theo công thức [5]:

$$x_i = \frac{X_i - X_i^0}{\Delta X_i} \quad (4)$$

trong đó: X_i – giá trị thực của thông số vào thứ i

X_i^0 – giá trị thực ở mức cơ sở của thông số vào thứ i

b_i – bước thay đổi của thông số vào thứ i , $\Delta X_i = \frac{X_i^+ - X_i^-}{2}$

Ma trận thực nghiệm được lập và ngẫu nhiên hóa trật tự bằng chương trình Statgraphic Vers 15.0 (Bảng 3).

Bảng 3. Ma trận thực nghiệm và kết quả thực nghiệm bậc hai theo thời gian gia công

TT	X_1	X_2	X_3	Y
1	0	0	1,68	126,96
2	0	0	0	78,2
3	1	1	1	113,85
4	0	-1,68	0	100,97
5	-1	1	-1	126,96
6	0	0	-1,68	110,63
7	0	0	0	74,75
8	-1	1	1	126,96
9	1,68	0	0	94,3
10	-1,68	0	0	136,62
11	0	0	0	74,75
12	1	-1	-1	100,97
13	-1	-1	1	117,07
14	0	1,68	0	120,52
15	0	0	0	78,2
16	-1	-1	-1	123,74
17	0	0	0	81,42
18	1	1	-1	94,3
19	0	0	0	74,75
20	1	-1	1	104,19

3.3. Kết quả và thảo luận

Dựa vào kết quả thực nghiệm, tiến hành phân tích phương sai lần một với mô hình dạng đa thức bậc hai đầy đủ (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả phân tích phương sai hàm Y đối với thời gian gia công

Nguồn	Tổng bình phương	Bậc tự do	Trung bình bình phương	Tỷ số F	Giá trị P
A:Yếu tố X_1	1704,8	1	1704,8	89,04	0,0000
B:Yếu tố X_2	175,562	1	175,562	9,17	0,0127
C:Yếu tố X_3	138,899	1	138,899	7,25	0,0226
AA	2353,56	1	2353,56	122,92	0,0000
AB	12,8018	1	12,8018	0,67	0,4326
AC	108,339	1	108,339	5,66	0,0387
BB	1779,31	1	1779,31	92,93	0,0000
BC	66,125	1	66,125	3,45	0,0928
CC	2808,16	1	2808,16	146,66	0,0000
Sai số tổng	191,474	10	19,1474		
Tổng cộng	8214,55	19			

Kết quả phân tích phương sai cho thấy hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy và bị loại gồm AB (hệ số của X_1X_2).

Sau khi loại bỏ hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy (AB) ra khỏi mô hình và tiến hành phân tích phương sai lần thứ hai cho mô hình. Kết quả xử lý số liệu xác định các hệ số hồi quy có ý nghĩa (P -value < 0,05) được trình bày trong Bảng 5 và 6.

Bảng 5. Kết quả phân tích phương sai hàm Y sau khi loại bỏ hệ số hồi quy không phù hợp (AB)

Nguồn	Tổng bình phương	Bậc tự do	Trung bình bình phương	Tỷ số F	Giá trị P
A:Yếu tố X_1	1704,8	1	1704,8	91,80	0,0000
B:Yếu tố X_2	175,562	1	175,562	9,45	0,0106
C:Yếu tố X_3	138,899	1	138,899	7,48	0,0194
AA	2353,56	1	2353,56	126,74	0,0000
AB	108,339	1	108,339	5,83	0,0343
AC	1779,31	1	1779,31	95,81	0,0000
BB	66,125	1	66,125	3,56	0,0858
BC	2808,16	1	2808,16	151,22	0,0000
CC	204,276	11	18,5706		
Sai số tổng	8214,55	19			

Bảng 6. Hệ số hồi quy hàm Y của thời gian gia công

Hệ số	Ước lượng
hằng số	77,1415
A:Yếu tố X_1	-11,1777
B:Yếu tố X_2	3,58701
C:Yếu tố X_3	3,19055
AA	12,7998
AC	3,68
BB	11,1292
BC	2,875
CC	13,9814

Các hệ số hồi quy ở dạng mã hóa được trình bày ở Bảng 5 và được viết lại như sau:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 77,1415 & b_3 &= 3,19055 & b_{11} &= 12,7998 \\
 b_1 &= -11,1777 & b_{13} &= 3,68 & b_{22} &= 11,1292 \\
 b_2 &= 3,58701 & b_{23} &= 2,875 & b_{33} &= 13,9814
 \end{aligned}$$

Như vậy, ở dạng mã hóa hàm Y phụ thuộc vào X_1, X_2 và X_3 được biểu diễn bằng phương trình toán như sau:

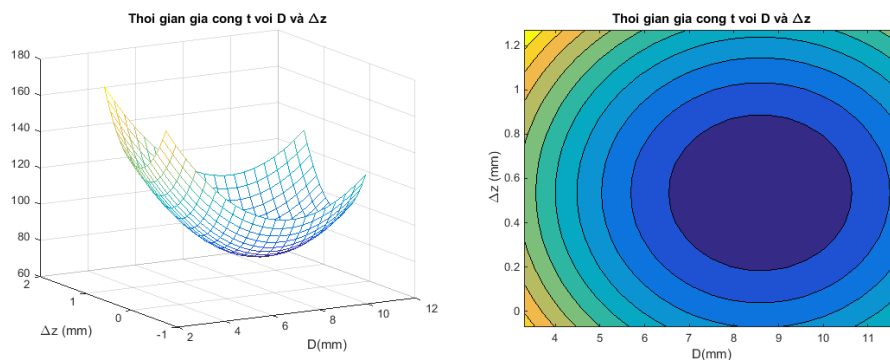
$$\begin{aligned}
 Y &= 77,1415 - 11,1777X_1 + 3,58701X_2 + 3,19055X_3 + 12,7998X_1^2 + 3,68X_1X_3 \\
 &\quad + 11,1292X_2^2 + 2,875X_2X_3 + 13,9814 X_3^2 \quad (5)
 \end{aligned}$$

Dựa vào hàm Y ở dạng mã hóa, tiến hành phân tích mức độ ảnh hưởng của các yếu tố nghiên cứu đến thời gian gia công, có nhận xét:

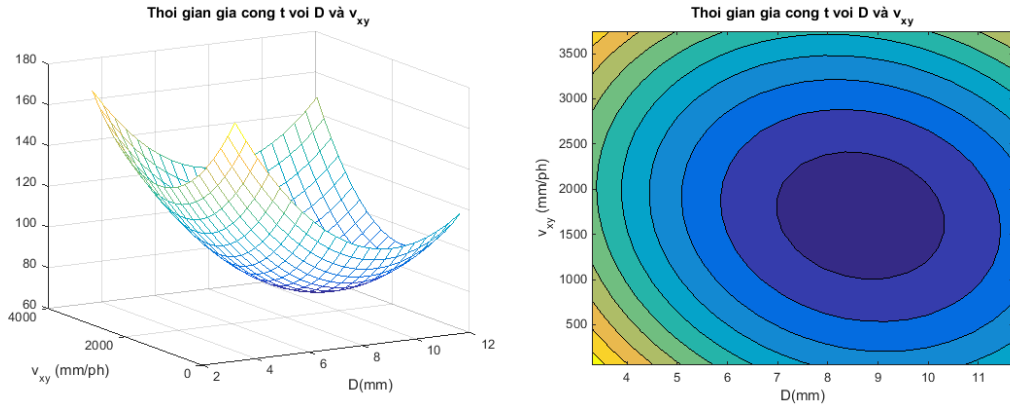
- Dấu trừ (-) đứng trước X_1 chứng tỏ đường kính dụng cụ và thời gian gia công có mối quan hệ tỷ lệ nghịch.
- Dấu cộng (+) đứng trước X_2 và X_3 chứng tỏ rằng bước tiến dụng cụ và tốc độ chạy dụng cụ có mối quan hệ tỷ lệ nghịch với thời gian gia công.

Qua hàm Y có thể vẽ đồ thị theo từng cặp yếu tố ảnh hưởng tới góc tạo hình (Hình 4-6), các đồ thị được vẽ khi giá trị của yếu tố còn lại được giữ ở mức cơ sở. Các đồ thị cho thấy:

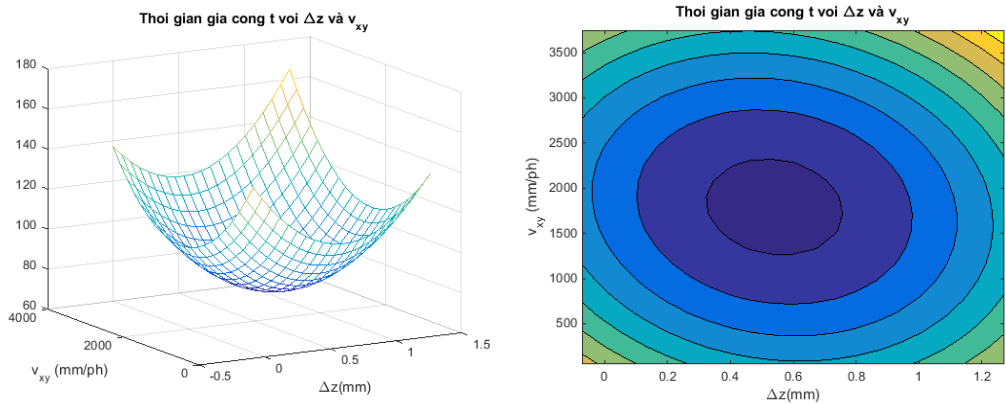
- Bề mặt đáp ứng của hàm Y có dạng parabol elliptic (dạng quả đồi) và đều nằm trong miền thí nghiệm.
- Điểm dừng của bề mặt đáp ứng (điểm tại đó bề mặt đáp ứng có độ dốc bằng 0) nằm sâu trong miền thí nghiệm và đạt giá trị cực đại của bề mặt đáp ứng.
- Vùng cho giá trị dự báo cao nhất của góc tạo hình là vùng trong của ellipse nhỏ nhất. Từ đó cho phép sơ bộ xác định được giá trị mã hóa của các yếu tố ảnh hưởng X_1, X_2 và X_3 .



Hình 4. Quan hệ giữa thời gian gia công t và cặp thông số ảnh hưởng $D-\Delta z$:
a) Đồ thị dạng lưới; b) Đồ thị dạng mức



Hình 5. Quan hệ giữa thời gian gia công t và cặp thông số ảnh hưởng D - v_{xy} :
 a) Đồ thị dạng lưới; b) Đồ thị dạng mức



Hình 6. Quan hệ giữa thời gian gia công t và cặp thông số ảnh hưởng v_{xy} - Δz :
 a) Đồ thị dạng lưới; b) Đồ thị dạng mức

Từ 3 đồ thị trong Hình 4-6 cho thấy, thời gian gia công t đạt giá trị nhỏ nhất khi $X_1 = 0,4597$, $X_2 = -0,1405$ và $X_3 = -0,1602$, $Y_{\min} = 74,0651$ tương ứng các giá trị thực của đường kính dụng cụ $D = 8,65$ mm, bước tiến dụng cụ $\Delta z = 0,54$ mm và tốc độ chạy dụng cụ $v_{xy} = 1723$ mm/ph.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, bài báo đã trình bày việc tiến hành thực nghiệm thu thập các thông số, quy hoạch thực nghiệm thiết lập mô hình toán và xác định giá trị tối ưu cho các thông số của quá trình gia công vật liệu tấm SUS 304 ảnh hưởng đến thời gian gia công bằng công nghệ SPIF.

Từ các kết quả trình bày ở trên, đã xác định được bộ thông số tối ưu của quá trình gia công bằng công nghệ tạo hình biến dạng cục bộ liên tục đơn điểm (Single Point Incremental Forming) trên vật liệu tấm SUS 304 ảnh hưởng tới thời gian gia công như sau:

- Đường kính dụng cụ $D = 8,65$ mm;
- Bước tiến dụng cụ $\Delta z = 0,54$ mm;
- Tốc độ chạy dụng cụ $v_{xy} = 1723$ mm/ph.

Về ý nghĩa khoa học và thực tiễn, đã xác định được mối quan hệ giữa các thông số công nghệ và thời gian gia công tạo hình của vật liệu SUS 304. Qua đó, cho thấy phương pháp gia công bằng công nghệ SPIF đối với các chi tiết dạng tấm với chi phí phù hợp, thời gian ngắn thích hợp trong sản xuất đơn chiếc và chế tạo sản phẩm thử nghiệm. Hướng nghiên cứu tiếp

theo của bài báo sẽ tập trung vào việc nghiên cứu lý thuyết và đặc biệt là thực nghiệm đối với những vật liệu khác như đồng, nhôm, polyme v.v. để đánh giá sự hội tụ của các thông số công nghệ tối ưu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tuyen Vo, Thanh Nam Nguyen, Tan Hung Nguyen and Antonov Svetlin - A Research of Optimization of the Forming Parameters to the Minimum Radial Dimension Error when Forming Sheet by HOTSPIF Technology, *Key Engineering Materials* **863** (2020) 13-17.
2. Võ Tuyền, Nguyễn Tấn Hùng, Lê Khánh Điền, Nguyễn Thanh Nam - Nghiên cứu mô phỏng lượng phục hồi theo phương hướng kính của vật liệu Titan khi gia công bằng công nghệ HOT SPIF, *Tạp chí Cơ khí Việt Nam* **4** (2018) 131-136.
3. Tuyen Vo, Thanh Nam Nguyen, Phan Anh Nguyen, Khanh Dien Le, Tan Ken Nguyen and Trung Le Tran - A Measure of Optimization of Technological Parameters to Improve the Formability of Stainless Steel Sheet SUS 304 by SPIF Technology **863** (2020) 59-66.
4. Nguyen Tan Hung, Le Khanh Dien, Nguyen Thanh Nam, Vo Tuyen, Svetlin Antonov - Research on the Formability of Titanium Sheet Materials by Hot Single Point Incremental Forming Technology, XXIII Scientific Conference with International Participation, FPEPM 9/2018.
5. Nguyễn Cảnh - Quy hoạch thực nghiệm, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh (2004).

ABSTRACT

DETERMINE THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE PROCESSING OF SUS 304 SHEET MATERIAL TO THE PROCESSING TIME BY SPIF TECHNOLOGY

Vo Van Luong¹, Vo Tuyen^{2*}, Dinh Le Cao Ky²
¹*Luong Vo Technical & Trading Co., Ltd*
²*Ho Chi Minh City University of Food Industry*
*Email: tuyenvo@hufi.edu.vn.

For the purpose of determining the optimal value for the technological parameters from the experimental results when evaluating the forming ability through the processing time during the processing of SUS 304 sheet material by SPIF technology. The article has conducted experiments to collect parameters and experimental planning to establish a mathematical model; at the same time, determine the optimal value for the parameters of the machining process such as tool diameter, tool feed and tool running speed which directly affect the machining time. The optimal technological parameters have practical applicability to improve the efficiency and productivity of the processing process for SUS 304 sheet metal in particular and other sheet metal materials in general.

Keywords: Experiment, optimization, processing time, forming parameters, SPIF technology.