

Nghiên cứu tác động của phương pháp bào rãnh V lên hiện tượng đàn hồi ngược trong quá chấn V

Lê Anh Chương^{1,2,3}, Nguyễn Hoàn^{1,2}, Trần Anh Sơn^{1,2}, Bành Quốc Nguyên^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Công Ty TNHH TM SX XD Sài Gòn An Phú

Liên hệ

Bành Quốc Nguyên, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. Hồ Chí Minh
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
Email: bqnguyen@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 06-08-2023
- Ngày sửa đổi: 08-11-2023
- Ngày chấp nhận: 07-07-2026
- Ngày đăng: 20-08-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-et.v9i3.1135>



Check for updates

Bản quyền

© Tạp chí ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

TÓM TẮT

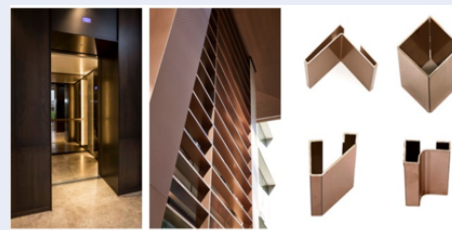
Phương pháp chấn V kết hợp với kỹ thuật bào rãnh V đã được chứng minh là mang lại hiệu quả cao trong việc tạo hình các sản phẩm kim loại có độ thẩm mỹ cao, đặc biệt trong lĩnh vực nội thất cao cấp. Kỹ thuật này cho phép tạo ra các góc chấn sắc nét, mang lại vẻ ngoài sang trọng và hiện đại, đồng thời làm tăng độ chính xác hình học của sản phẩm. Tuy nhiên, một trong những vấn đề quan trọng cần được kiểm soát trong quá trình chấn là hiện tượng đàn hồi ngược (spring back), ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của góc chấn sau khi gia công. Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của ba thông số công nghệ chính gồm: chiều sâu bào rãnh, cao độ chấn, và thời gian giữ cuối hành trình, đến hiện tượng đàn hồi ngược trong quá trình chấn V có rãnh V. Nghiên cứu sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm theo ma trận trực giao Taguchi L9 để giảm thiểu số lượng thí nghiệm cần thiết nhưng vẫn đảm bảo tính tin cậy. Chỉ số S/N (Signal-to-Noise ratio) được sử dụng làm cơ sở đánh giá và tối ưu hóa chất lượng đầu ra theo tiêu chí "càng nhỏ càng tốt" cho độ đàn hồi ngược. Kết quả cho thấy cao độ chấn là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến hiện tượng đàn hồi ngược, tiếp theo là chiều sâu bào, trong khi thời gian giữ có ảnh hưởng không đáng kể và có thể xem là nhiễu trong quy trình tối ưu. Bộ thông số công nghệ tối ưu được xác định gồm: cao độ chấn 0.6 mm, chiều sâu bào 0.3 mm và thời gian giữ 3 giây. Nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc tối ưu hóa quá trình chấn kim loại tấm mỹ trong thiết kế nội thất.

Từ khoá: Chấn V, bào rãnh V, thực nghiệm Taguchi

GIỚI THIỆU CHUNG

Trong ngành tạo hình kim loại chấn, độ chính xác trong góc chấn được xem là một trong những mục tiêu hàng đầu trong nhiều ngành sản xuất. Hiện nay quy trình chấn V (V-bending) được sử dụng phổ biến, độ chính xác về dung sai kích thước và hình học được các nhà nghiên cứu quan tâm trong việc kiểm soát chất lượng sản phẩm, một trong những thông số chất lượng quan trọng là góc sau chấn. Góc chấn chịu sự ảnh hưởng từ nhiều yếu tố, từ tính chất của vật liệu đến phương pháp chấn và các điều kiện làm việc khác, tuy nhiên tính chất cơ học của vật liệu đóng vai trò lớn đến chất lượng sản phẩm, một số tính chất cơ học bao gồm: ứng suất chảy, ứng suất giới hạn, độ giãn dài. Góc chấn trong quá trình chấn bị ảnh hưởng bởi tính chất vật liệu, một trong những hiện tượng thường xảy ra là đàn hồi ngược (spring back). Các bài nghiên cứu hiện nay có thể kể đến. Zang et al¹ nghiên cứu mô hình cấu thành để dự đoán đàn hồi ngược, trong đó sự thay đổi của mô đun Young với biến dạng dẻo được xem xét. Leu và Hsieh² đã nghiên cứu ảnh hưởng của lực chấn trong việc giảm độ đàn hồi ngược trong quá trình uốn khuôn chữ V. Wang et al³ đã nghiên cứu

sự kiểm soát đàn hồi ngược của quá trình uốn kim loại tấm. Tekaslan et al.⁴ đã xác định độ đàn hồi của tấm kim loại thép không gỉ trong khuôn uốn chữ V. Meinder et al.⁵ đã nghiên cứu dự đoán và tối ưu hóa hồi xuân bằng cách sử dụng phân tích số.



Hình 1: Sản phẩm nội thất dùng công nghệ bào rãnh

Trong ngành kiến trúc hiện nay, các nhà thiết kế và kiến trúc sư hướng đến mục tiêu đạt được các sản phẩm nội thất với các lớp phủ màu hoàn thiện mang tính cao cấp và sang trọng (Hình 1). Các chi tiết ốp với các nếp gấp. Các nhà sản xuất cho các sản phẩm này

Trích dẫn bài báo này: Chương L A, Hoàn N, Sơn T A, Nguyên B Q. **Nghiên cứu tác động của phương pháp bào rãnh V lên hiện tượng đàn hồi ngược trong quá chấn V.** VNUHCM J. Eng. Technol. 2026; 9(3):3171-3177.

thường sử dụng rãnh chữ V (V-Grooving) để tạo ra các góc sắc nét trong các tấm, sau khi được lồng vào nhau và gắn kết, tạo ra vẻ ngoài như một khối liền mạch. Uốn kim loại theo phương pháp V-Grooving cho phép uốn kim loại với bán kính hẹp hoặc góc nhọn. Điều này cho phép kim loại gấp bất chước vật liệu thanh đặc với chi phí chỉ bằng một phần mười và cũng tránh lãng phí. Cấu hình có rãnh chữ V trông giống như vật liệu thanh đặc nhưng có trọng lượng nhẹ và dễ vận chuyển và lắp đặt hơn. Hiện nay các công nghệ chủ yếu mang yếu tố kinh nghiệm với các bài chia sẻ blog⁶. Tuy nhiên hiện nay các bài nghiên cứu về mảng này còn ít, do đó để tài tiến hành nghiên cứu thí nghiệm các sản phẩm chấn V sử dụng rãnh V, để nghiên cứu về quá trình tạo hình đang phổ biến này.

VẬT LIỆU VÀ THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

Vật liệu thí nghiệm

Trong phạm vi nghiên cứu này, vật liệu JIS-G4305, SUS304 được sử dụng để nghiên cứu tính chất biến dạng tạo hình. Đối với các sản phẩm cho ngành nội thất hiện nay, vật liệu SUS 304 với bề dày 1 mm thường được sử dụng. Tính chất cơ học của vật liệu được nhà sản xuất cung cấp được liệt kê trong bảng dựa trên “Mill Test Certificate”⁷, được cho ở Bảng 1.

Bảng 1: Tính chất cơ học vật liệu

H6YA33760AA	Tensile Test			
	YS	TS	EL	Hardness
Value	296	653	56	166

Thiết bị thí nghiệm

Để thực hiện các công đoạn thí nghiệm, máy chấn thủy lực, máy bào rãnh V và máy đo lường được thiết lập để phục vụ quá trình thí nghiệm. Thông số lực chấn được kiểm soát trên máy chấn của hãng AMADA với model CB83 theo (Hình 2). Các thông số chấn được kiểm soát bao gồm: cao độ chấn, thời gian giữ chày ở cuối hành trình. Bộ khuôn chấn được lấy theo tiêu chuẩn, thông số bộ khuôn lấy theo tiêu chuẩn để tạo hình góc chấn 90 độ (Hình 3).

Quá trình tạo rãnh V(V-Grooving) được thực hiện trên một máy riêng biệt, các đường bào được tạo nằm trên đường chấn. Sau quá trình bào rãnh, quá trình chấn có thể được thực hiện bằng máy chấn hoặc là ngay cả bằng tay tùy thuộc và chiều sâu bào. Khi sử dụng trên máy chấn, người vận hành có thể chấn kim loại có rãnh thành nhiều góc và hình dạng khác nhau bằng cách sử dụng các công cụ tùy chỉnh hoặc có sẵn.

Trong máy CNC bào rãnh V hiện đại, tấm chấn được định vị trên bàn nằm ngang, chương trình của bộ điều khiển sử dụng các tham số vật liệu (độ dày, vật liệu, v.v.) để tính toán độ sâu và vị trí của vết cắt. Trong bài báo này, máy CNC với model: CNC-V-Grooving M/C model KVM 4000 của hãng KYUNGCHANG, được dùng để tạo các mẫu với các chiều sâu bào khác nhau.



Hình 2: Máy chấn AMADA model CB83

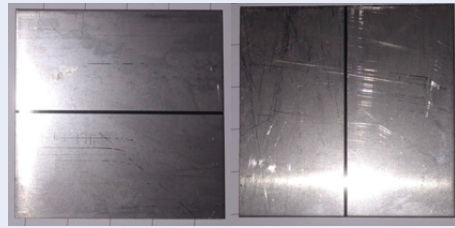


Hình 3: Bộ khuôn chấn thực nghiệm góc 90

Thiết bị đo góc chấn được sử dụng trên máy đo tọa độ 3 chiều CMM (Coordinate Measuring Machine). Máy đo của hãng Mitutoyo, model: BEYOND-A504. Trong hệ thống tính toán, bằng cách thực hiện một số quy trình đo lường, ta có thể trích xuất được thông tin về số đo góc, từ đó tính được độ đàn hồi ngược của sản phẩm sau khi chấn.

Mẫu thí nghiệm

Các mẫu thử cho bài thí nghiệm dựa trên “Mill Test Certificate”⁷, với Gauge Length: 50 mm (hình chữ nhật), như ở phần trước đã đề cập đến (Hình 4). Theo khảo sát chiều sâu bào ở các xưởng sản xuất, bài báo đề xuất các chiều sâu bào khác nhau lần lượt là: 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm. Các rãnh V được bào trên máy bào CNC-V-Grooving, các thông số được điều khiển bởi chương trình CNC.



Hình 4: Mẫu thực nghiệm sau khi được bào theo phương pháp V-Grooving

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

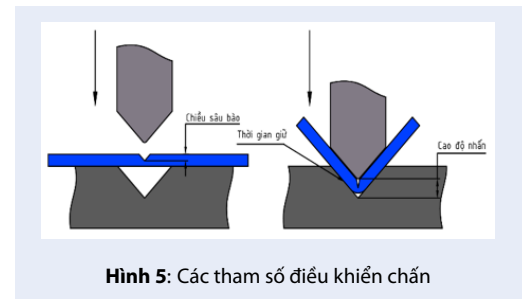
Tiến sĩ Genichi Taguchi là người tiên phong trong lĩnh vực thiết kế và tối ưu hóa các tham số thực nghiệm. Đồng thời, đây cũng là một phương pháp mạnh mẽ và hiệu quả để thiết kế sản phẩm một cách nhất quán và tối ưu trên nhiều điều kiện khác nhau, chính vì những ưu điểm đó nên phương pháp được sử dụng rộng rãi trong phân tích kỹ thuật. Một trong những ưu điểm chính của phương pháp là giảm số lượng thử nghiệm bằng cách sử dụng mảng trực giao, nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của các yếu tố không thể kiểm soát. Điều này giúp tiết kiệm thời gian và tài nguyên, đồng thời tăng tính chính xác và độ tin cậy của kết quả. Nhờ vào phương pháp của ông, các nhà thiết kế và nhà nghiên cứu có thể tiến hành các thí nghiệm hiệu quả hơn, giúp tối ưu hóa hiệu suất và chất lượng sản phẩm.

Quy hoạch thực nghiệm Taguchi cung cấp một cách tiếp cận đơn giản, hiệu quả và có hệ thống, trong bài báo này, các thông số chấn được tối ưu trong quy trình sản xuất. Thiết kế Taguchi, hay mảng trực giao, là một phương pháp thiết kế thí nghiệm thường chỉ yêu cầu một phần nhỏ của tổ hợp đầy đủ các giai thừa. Do đó, mỗi yếu tố có thể được đánh giá độc lập với tất cả các yếu tố khác, tác động của một yếu tố không ảnh hưởng đến ước tính của yếu tố khác. Tỷ lệ S/N⁸ được sử dụng để đo độ nhạy của các đặc tính được nghiên cứu một cách có kiểm soát. Tiến sĩ Taguchi đã phân loại các biến phản ứng thành ba loại khác nhau: càng lớn càng tốt, càng nhỏ càng tốt và tốt nhất trên danh nghĩa. Ứng với các yêu cầu, các công thức được thành

lập dựa trên cơ sở toán học và thống kê. Do đó, các phương trình cho tính toán tỉ số S/N là khác nhau với từng yêu cầu. Dựa trên yêu cầu của sản phẩm, các tiêu chí chất lượng được lựa chọn và ta chọn công thức phù hợp để tiến hành phân tích.

THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM

Trước hết, ta cần xác định các yếu tố có thể điều khiển (tham số điều khiển) và các chế độ làm việc của từng yếu tố điều khiển (thông số công nghệ). Trong phạm vi bài báo, ba tham số điều khiển được nghiên cứu: cao độ chấn, chiều sâu cắt và thời gian giữ, các thông số thể hiện (Hình 5).



Hình 5: Các tham số điều khiển chấn

Chiều sâu bào thể hiện chiều sâu cắt vật liệu trong quá trình V-Grooving, ta khảo sát ba chế độ công nghệ: 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm. Cao độ chấn thể hiện tọa độ cuối cùng của chày sau khi chấn, thông thường cao độ chấn được thiết lập bằng đúng bề dày sản phẩm, bài báo đưa ra ba chế độ công nghệ khảo sát: 1mm, 0.8mm và 0.6mm. Thời gian giữ, là thời gian chày đến tọa độ cuối và được duy trì, được khảo sát qua ba chế độ công nghệ: 3s, 4s và 5s. Các tham số điều khiển và chế độ công nghệ tương ứng được thể hiện ở Bảng 2. Ứng với 3 tham số điều khiển và 3 chế độ công nghệ, mảng trực giao Taguchi L9 được sử dụng làm thí nghiệm (Bảng 3).

Kết quả của quá trình chấn được đánh giá bằng chất lượng của sản phẩm sau khi chấn. Chất lượng các sản phẩm chấn bao gồm nhiều tiêu chí như: chất lượng bề mặt, tính cơ học, dung sai kích thước, ... Trong trường hợp này, tiêu chí chất lượng được chọn là độ đàn hồi ngược. Trong kết quả đánh giá, độ đàn hồi ngược được tính bằng sự chênh lệch với góc 90 độ mong muốn, vì vậy kết quả được đánh giá bằng tiêu chí càng nhỏ càng tốt (smaller is better).

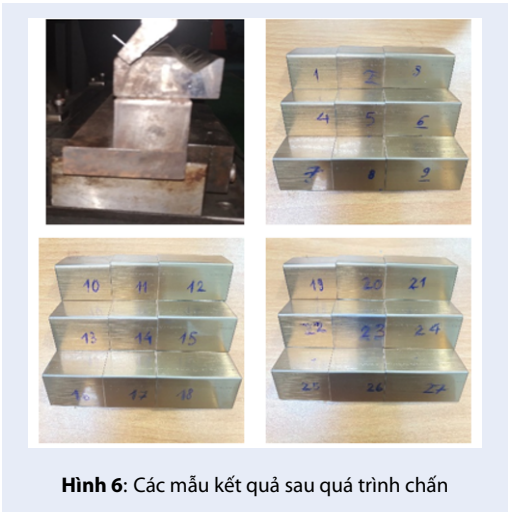
Dữ liệu kết quả thực nghiệm, tỷ lệ S/N và giá trị trung bình cộng cho các tham số độ đàn hồi ngược được trình bày dưới dạng trực giao mảng L9. Để giảm sự ảnh hưởng của độ nhiễu, mỗi thí nghiệm được tiến hành với ba lần lặp lại, do đó ta có tổng cộng 27 thí nghiệm được thực hiện.

Sau đó 27 mẫu thực nghiệm sẽ được đo trên máy đo tọa độ 3 chiều để trích xuất thông tin về độ đàn hồi ngược. Quy trình lấy mẫu đo cũng tương tự, với việc lặp lại 3 lần đo và trung bình cộng độ chênh lệch, nhằm mục đích tăng độ tin cậy của kết quả đo. 27 kết quả đo được thu thập và sau đó sử dụng phần mềm Minitab để phân tích dữ liệu.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả thí nghiệm

Sau khi xác định thiết kế thực nghiệm và thực hiện các thực nghiệm, các đặc điểm chất lượng được đo từ mỗi thử nghiệm có thể được sử dụng để phân tích tác động tương đối của các tham số khác nhau. Kết quả của quá trình chẩn (Bảng 4) được đánh dấu từ 1 đến 27 để dễ dàng quan sát và thực hiện, bên cạnh đó cũng hỗ trợ cho việc đo lường và thu thập dữ liệu đo. Các mẫu kết quả được thể hiện ở (Hình 6).



Hình 6: Các mẫu kết quả sau quá trình chẩn

Để xác định tác động của mỗi tham số điều khiển lên kết quả (Bảng 5), tỷ lệ S/N cần được tính toán cho mỗi thử nghiệm. Tỷ lệ S/N cho mỗi tham số được tính toán và thể hiện ở Bảng 6. Giá trị càng lớn cho một tham số điều khiển, tác động của biến số lên quá trình chẩn càng lớn. Điều này xảy ra vì cùng một thay đổi trong S/N gây ra tác động lớn hơn lên biến số đầu ra đang được đo, hiển thị bằng đáp ứng cho giá trị trung bình của độ đàn hồi ngược để tối ưu hoá hàm mong muốn (càng nhỏ càng tốt) tương ứng, đáp ứng của tỷ lệ S/N cho độ đàn hồi ngược được tạo ra bằng cách sử dụng kỹ thuật Taguchi và cho thấy các mức tối ưu của các yếu tố điều khiển cho độ đàn hồi ngược tối ưu.

Phân tích kết quả

Các bảng bao gồm các hạng dựa trên số liệu delta, so sánh độ lớn tương đối của tác động. Số liệu delta là giá

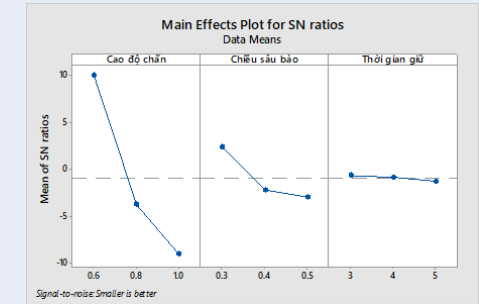
Bảng 5: Bảng kết quả trung bình cộng

Level	Chiều sâu nhấn (mm)	Chiều sâu bào (mm)	Thời gian giữ (s)
1	0.3154	1.0736	1.7190
2	1.5923	1.7788	1.6849
3	2.9239	1.9793	1.4277
Delta	2.6085	0.9057	0.2912
Rank	1	2	3

Bảng 6: Bảng kết quả tỉ lệ S/N

Level	Cao độ nhấn (mm)	Chiều sâu bào (mm)	Thời gian giữ (s)
1	9.9727	2.3796	-0.6563
2	-3.7531	-2.2306	-0.8851
3	-9.0656	-2.9950	-1.3045
Delta	19.0382	5.3745	0.6482
Rank	1	2	3

trị cao nhất trừ đi giá trị thấp nhất trung bình cho mỗi yếu tố. Các giá trị thông số công nghệ của các tham số điều khiển cho độ đàn hồi ngược được cho trong và được hiển thị dưới dạng biểu đồ trong Hình 7 và Hình 8. Các thông số công nghệ tối ưu của các yếu tố điều khiển để hạn chế độ đàn hồi ngược có thể dễ dàng xác định từ các biểu đồ này. Mức tốt nhất cho mỗi yếu tố điều khiển được tìm thấy dựa trên tỷ lệ S/N cao nhất trong các mức của yếu tố điều khiển đó.



Hình 7: Biểu đồ giá trị tỉ số S/N

Các thông số tối ưu của các tham số điều khiển để giảm thiểu độ đàn hồi ngược của vật liệu có thể được quyết định thông qua các biểu đồ. Các chế độ công nghệ ứng với mỗi tham số điều khiển được thể hiện theo chỉ số S/N cao nhất của mỗi tham số. Theo đó, các thông số công nghệ ứng với các tham số điều khiển để cho độ đàn hồi ngược đạt tối như sau:

Bảng 2: Bảng tham số điều khiển và chế độ công nghệ

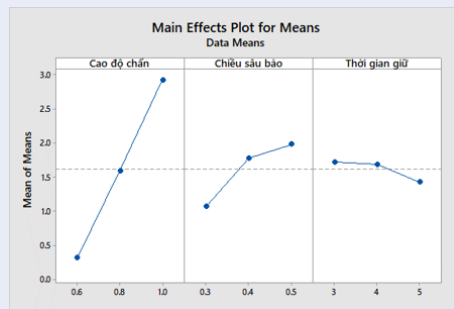
Parameters		Levels		
		1	2	3
A	Cao độ chấn [mm]	0.6	0.2	0
B	Chiều sâu bào [mm]	0.3	0.4	0.5
C	Thời gian giữ [s]	3	4	5

Bảng 3: Bảng trực giao taguchi L9

Thí nghiệm	Parameters and their levels		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	3
5	2	2	1
6	2	3	2
7	3	1	2
8	3	2	3
9	3	3	1

Bảng 4: Bảng kết quả đo lường thực nghiệm

Tham số điều khiển và thông số công nghệ								
Experiment no.	A	B	C	Result 1	Result 2	Result 3	S/N	Mean
	Cao độ chấn [mm]	Chiều sâu bào[mm]	Thời gian giữ [s]					
1	0.6	0.3	3	0.15350	0.25139	0.23180	13.2948	0.21223
2	0.6	0.4	4	0.42500	0.33944	0.32139	8.7600	0.36194
3	0.6	0.5	5	0.39917	0.55139	0.16528	7.8632	0.37194
4	0.8	0.3	4	1.16361	0.97139	0.86611	-0.0686	1.00037
5	0.8	0.4	5	1.61139	2.29917	1.79889	-5.6893	1.90315
6	0.8	0.5	3	2.15056	1.77556	1.69417	-5.5013	1.87343
7	1.0	0.3	5	1.76833	2.16028	2.09583	-6.0875	2.00815
8	1.0	0.4	3	3.32417	3.01639	2.87306	-9.7625	3.07120
9	1.0	0.5	4	3.74333	3.69333	3.64056	-11.3468	3.69241



Hình 8: Biểu đồ giá trị trung bình cộng

Cao độ nhấn (chế độ công nghệ 1, S/N 9.9727, delta 19.0382, rank 1), Chiều sâu bào (chế độ công nghệ 1, S/N 2.3796, delta 5.3745, rank 2), Thời gian giữ (chế độ công nghệ 1, S/N -0.6563, delta 0.6482, rank 3). Nói theo cách khác, chế độ công nghệ tối ưu: Cao độ nhấn 0.6mm, Chiều sâu bào 0.3mm, và thời gian giữ 3s.

Cao độ chấn, với các thông số công nghệ đã cho trên, việc hạ cao độ chấn đồng nghĩa với việc tăng lực chấn, vì “punch” sẽ đi sâu vào lớp vật liệu tác động lực mạnh hơn, phương pháp này hay thường được gọi là phương pháp chấn “coining”. Phương pháp “coining” thường được sử dụng để ngăn ngừa độ đàn hồi ngược tuy nhiên máy chấn yêu cầu lực chấn cao. Chính vì vậy, việc cao độ thấp đồng nghĩa lực chấn mạnh hơn sẽ tạo ra độ ổn định đồng thời giảm độ đàn hồi ngược.

Chiều sâu bào, với mục tiêu ban đầu trong việc bào rãnh V là giảm đường kính ngoài mục đích chính làm sắc nhọn các góc cạnh để tăng tính thẩm mỹ. Tuy nhiên đối với rãnh V khi tạo bào với góc dao bào là 90 độ, khi chấn vật liệu sẽ dẫn đến khi vào góc 90 độ, các cạnh vát với rãnh bào V tác động lên bề mặt chảy khi tiến hành chấn “coining”, chính vì vậy tạo ra phản lực lên vật liệu. Lực này có xu hướng làm tăng độ đàn hồi ngược. Vì vậy ta có thể thấy được, các lớp bào mỏng giảm được sự ảnh hưởng của độ đàn hồi ngược. Thời gian giữ, khi so sánh với biểu đồ trung bình cộng của độ đàn hồi ngược, ta thấy được có điểm khác biệt trong thời gian giữ cuối hành trình sau quá trình định hình kim loại chấn, với sự đóng góp delta rất ít trong kết quả, ta có thể bỏ qua được tham số điều khiển là thời gian giữ trong quá trình tối ưu hóa và ta có thể xem xét tham số này là một trong các tác nhân gây nhiễu đối với các nghiên cứu chuyên sâu sắp tới.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, quy hoạch thực nghiệm được tiến hành theo Taguchi L9. Ba tham số điều khiển với ba chế độ công nghệ được thực hiện để nghiên cứu về độ đàn hồi ngược trong quá trình chấn V có rãnh bào ở

vật liệu JIS-G4305, SUS304. Bộ thông số tối ưu được xác định dựa trên tỉ lệ S/N sử dụng “càng nhỏ càng tốt”. Thông số tối ưu đưa ra với tham số điều khiển A (chế độ 1), B (chế độ 1) và C (chế độ 1). Tuy nhiên tham số điều khiển C có thể lược bỏ và xem như một nhân tố gây nhiễu. Như vậy bộ thông số tối ưu còn lại, cao độ nhấn (0.6mm), chiều sâu bào (0.3mm). Cao độ nhấn đóng góp lớn nhất, theo sau đó là chiều sâu bào. Tất cả các kết quả đều thể hiện thông qua các bảng dữ liệu dựa trên Taguchi.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. Tác giả xin chân cảm ơn sự giúp đỡ từ Công ty Sài Gòn An Phú (Savax Door) đã hỗ trợ thiết bị chấn, xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm đo lường, Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Bách Khoa TP HCM đã hỗ trợ dụng cụ đo lường.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xác nhận không có xung đột lợi ích liên quan đến công trình nghiên cứu.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nhóm tác giả sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để xác định sự đóng góp của các yếu tố trong quá trình chấn sử dụng phương pháp V-Grooving. Các thành viên đều có đóng góp như nhau trong nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Zang SL, Liang J, Guo C. A constitutive model for spring-back prediction in which the change of considered. International Journal of Machine Tools Manufacture. 2007;47:1791–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.01.003>.
2. Leu DK, Hsieh CM. The influence of coining force on spring-back reduction in V-die bending process. Journal of Materials Processing Technology. 2008;196:230–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.033>.
3. Wang J, Verma S, Alexander R, Gauc J. Spring-back control of sheet metal air bending process. Journal of Manufacturing Processes. 2008;10:21–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.manpro.2007.09.001>.
4. Tekaslan O, Gerger N, Seker U. Determination of spring-back of stainless-steel sheet metal in “: bending dies. Materials Design. 2008;29:1043–50. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.04.004>.
5. Meinders T, Burchitz IA, Bonte MH, Lingbeek RA. Numerical product design: springback prediction, compensation and optimization. International Journal of Machine Tools Manufacture. 2008;48:499–514. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.08.006>.
6. John Desmond Limited, V Grooving & folding of sheet metals for Trade, London, England. [Online]. ; 2023. Available from: <https://www.johndesmond.com/products-and-services/v-grooving-and-folding-of-sheet-metals/trade/>.
7. Certificate MT. 230119-RCH6AN-0002A1-0001; 2023.
8. Taguchi G, Chowdhury S, Wu Y. Taguchi's Quality Engineering Handbook. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken; 1662.

Study on the effect V-Grooving on spring back phenomenon of V-bending process

Anh-Chuong Le^{1,2,3}, Hoan Nguyen^{1,2}, Anh-Son Tran^{1,2}, Nguyen-Quoc Banh^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, Dien Hong Ward, Ho Chi Minh City, Viet Nam

²Viet Nam National University Ho Chi Minh City, Linh Xuan Ward, Ho Chi Minh City, Viet Nam

³Saigon An Phu Co., Ltd

Correspondence

Nguyen-Quoc Banh, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, Dien Hong Ward, Ho Chi Minh City, Viet Nam

Viet Nam National University Ho Chi Minh City, Linh Xuan Ward, Ho Chi Minh City, Viet Nam

Email: bqnguyen@hcmut.edu.vn

History

- Received: 06-08-2023
- Revised: 08-11-2023
- Accepted: 07-07-2026
- Published Online: 20-08-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-et.v9i3.1135>



Check for updates

Copyright

© VNUHCM Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

ABSTRACT

The combination of V-bending and V-grooving has proven to be highly effective in forming aesthetically refined sheet metal products, especially in high-end interior applications. This technique enables the creation of sharp, clean bend angles and enhances the geometric accuracy of final products, delivering a modern and seamless appearance. However, one of the key challenges in the V-bending process is the spring back phenomenon, which significantly affects the accuracy of the final bending angle. This paper presents an experimental study on the influence of three primary technological parameters - groove depth, bending height, and end hold time on the spring back behavior in the V-bending process with pre-cut V-grooves. A Taguchi L9 orthogonal array is employed to efficiently design the experiments, minimizing the number of trials while ensuring statistical reliability. The Signal-to-Noise (S/N) ratio is used as the evaluation criterion, with the quality objective of "smaller is better" applied to minimize spring back. The results indicate that bending height has the most significant effect on reducing spring back, followed by groove depth, whereas end hold time shows negligible influence and may be treated as a noise factor in further optimization. The optimal set of process parameters identified from the study includes a bending height of 0.6 mm, groove depth of 0.3 mm, and end hold time of 3 seconds. These findings provide valuable insights for improving the forming accuracy of V-bent sheet metal parts, especially in applications requiring precise and visually appealing features. The study contributes to the scientific basis for optimizing metal bending processes and supports the development of more efficient manufacturing techniques for high-quality decorative metal components.

Key words: V-bending, V-Grooving, Taguchi method

Cite this article : Le A-C, Nguyen H, Tran A-S, Banh N-Q. **Study on the effect V-Grooving on spring back phenomenon of V-bending process.** *VNUHCM J. Eng. Technol.* 2026; 9(3):3171-3177.