

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT SUS 430 TIẾP XÚC VỚI BÁN KÍNH CỎI DẬP KHI DẬP VUỐT VẬT LIỆU ĐA LỚP SUS316/AL1050/SUS430

EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF SUS 430 IN CONTACT WITH THE DIE RADIUS DURING FILLING OF MULTI-LAYER SUS316/AL1050/SUS430 MATERIALS

Kiều Việt Chi, Lê Như Trang*

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

*Email: lntrang@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung phân tích sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng bề mặt lớp SUS 430 khi dập vuốt vật liệu đa lớp SUS316/AL1050/SUS430. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm và phân tích phương sai (ANOVA), một mô hình toán học dự đoán độ nhám bề mặt (Ra_{430}) đã được thiết lập dựa trên ba thông số: lực dập (Q_d), bán kính cối (R_c) và chiều sâu dập (S_d). Độ tin cậy của mô hình được xác thực qua phân tích phần dư và kiểm định đa cộng tuyến (VIF). Kết quả định lượng cho thấy chiều sâu dập có ảnh hưởng lớn nhất (58%) đến sự thay đổi hình thái bề mặt. Phân tích vi mô xác định được các rãnh xước có kích thước từ 10-15 μm xuất hiện khi màng dầu bôi trơn bị phá vỡ ở áp suất tiếp xúc cao.

Từ khóa: Dập vuốt sâu; Vật liệu đa lớp; SUS316/AL1050/SUS430; Độ nhám bề mặt Ra_{430} ; ANOVA.

ABSTRACT

This study focuses on analyzing the effects of technological parameters on the surface quality of the SUS 430 layer during the deep drawing process of SUS316/AL1050/SUS430 multi-layer materials. By employing the Design of Experiments (DOE) approach and Analysis of Variance (ANOVA), a mathematical model for predicting surface roughness (Ra_{430}) was established based on three core parameters: drawing force (Q_d), die radius (R_c), and drawing depth (S_d). The reliability of the model was rigorously validated through residual analysis and multicollinearity testing (VIF). Quantitative results demonstrate that drawing depth exerts the most significant influence (58%) on surface morphology variations. Furthermore, micro-morphological analysis revealed the formation of 10-15 μm scratches resulting from the breakdown of the lubricating oil film under high contact pressure.

Keywords: Deep drawing; Multi-layer materials; SUS316/AL1050/SUS430; Surface roughness Ra_{430} ; ANOVA.

1. GIỚI THIỆU

1.1. Tổng quan về dập vuốt vật liệu đa lớp

Việc ứng dụng vật liệu đa lớp trong công nghiệp sản xuất thiết bị nhà bếp đang ngày càng phổ biến nhờ khả năng kết hợp các đặc tính cơ lý ưu việt của từng lớp kim loại đơn lẻ. Tuy nhiên, quá trình dập vuốt vật liệu đa lớp diễn ra phức tạp hơn rất nhiều so với kim loại đồng nhất do sự chênh lệch về giới hạn chảy, mô đun đàn hồi và hệ số hóa cứng biến dạng giữa các lớp vật liệu.

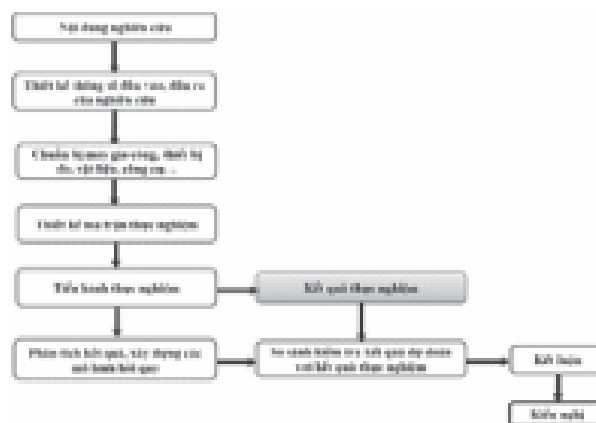
1.2. Cơ chế biến dạng dẻo và tương tác tại bề mặt phân cách (SUS–Al–SUS)

Trong cấu trúc SUS 316 / Al 1050 / SUS 430, lớp nhôm Al 1050 ở giữa đóng vai trò như một lớp đệm dẻo, có giới hạn chảy thấp hơn đáng kể so với hai lớp thép không gỉ. Dưới tác dụng của lực ép Qd, ứng suất cắt phát sinh tại bề mặt phân cách giữa Al và SUS. Theo lý thuyết cơ học tiếp xúc và mô hình dẻo của Hill (1950), sự trượt tương đối giữa các lớp bị cản trở bởi liên kết dính kim loại, dẫn đến phân bố ứng suất không đồng đều trên mặt cắt ngang. Khi đi qua bán kính cối (Rc), lớp SUS 430 (tiếp xúc trực tiếp với cối) chịu trạng thái ứng suất kéo - nén phức tạp. Áp lực tiếp xúc cực đại tại góc bo của cối kết hợp với ma sát trượt Coulomb làm gia tăng nhiệt độ và phá vỡ màng dầu bôi trơn, dẫn đến hiện tượng bám dính vì mô và cày xước, trực tiếp làm tăng độ nhám bề mặt Ra430.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ ĐIỀU KIỆN THỰC NGHIỆM

Tiến trình nghiên cứu thực nghiệm được triển khai tuần tự từ bước thiết kế thông số, chuẩn bị máy móc, ma trận thực nghiệm đến khâu tiến hành, đo lường và phân tích hồi quy.

Sơ đồ 1.1. Sơ đồ tiến trình nghiên cứu thực nghiệm



2.1. Chuẩn bị vật liệu và bôi trơn



Hình 2.1. a) Dầu dập vuốt ; b) Phôi 3 lớp

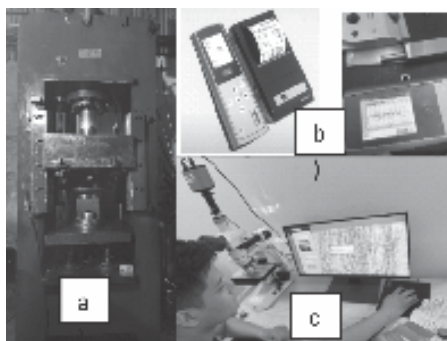
Phôi mẫu thí nghiệm có kích thước đường kính 230mm, tổng độ dày 2,2mm. Để hạn chế ma sát trượt và bảo vệ bề mặt phôi trong quá trình biến dạng dẻo, nghiên cứu sử dụng dầu dập vuốt chuyên dụng SHL DRAW 61 [5]. Loại dầu này có khả năng tách khuôn tốt, tản nhiệt nhanh, và đặc biệt không gây ô nhiễm hay ăn mòn lớp kim loại mềm kẹp giữa.

2.2. Thiết bị gia công và hệ thống đo lường

Quá trình dập vuốt được thực hiện trên máy ép thủy lực song động 300 tấn. Sau khi gia công, chất lượng chi tiết được kiểm tra qua hai hệ thống:

Đo độ nhám: Máy đo độ nhám ACCRETECH với khả năng đo trục Z từ -210 đến +160 μm , tuân thủ các tiêu chuẩn đo lường bề mặt quốc tế [6].

Phân tích vi mô: Kính hiển vi soi kim tương Meiji Techno MT7100L ở độ phóng đại 50X, dùng để đánh giá các vết cày xước của lớp SUS 430 tại các độ sâu biến dạng khác nhau.



Hình 2.2. a) Máy ép thủy lực song động 300 tấn; b) Thiết lập hệ thống đo độ nhám bề mặt ACCRETECH; c) Thiết lập đo mòn mặt sau dụng cụ bằng kính hiển vi

2.3. Thiết kế ma trận thực nghiệm

Ba thông số công nghệ được lựa chọn bao gồm: lực đập Qd (14÷18 tấn), bán kính cối đập Rc (6÷14 mm) và chiều sâu đập Sd (30÷80 mm). Thực nghiệm tiến hành với 11 mẫu thử theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm.

TT	Thông số mã hóa			Thông số chế độ cắt			
	X1	X2	X3	Rc mm	Qd Tấn	Sd mm	Ra ₄₃₀ μm
1	-1	-1	-1	6	14	30	0.609
2	1	-1	-1	14	14	30	0.656
3	-1	1	-1	6	18	30	0.784
4	1	1	-1	14	18	30	0.585
5	-1	-1	1	6	14	80	1.179
6	1	-1	1	14	14	80	0.970
7	-1	1	1	6	18	80	1.317
8	1	1	1	14	18	80	0.986
9	0	0	0	10	16	55	0.709
10	0	0	0	10	16	55	0.760
11	0	0	0	10	16	55	0.784

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mô hình toán học dự đoán độ nhám và phân tích ANOVA

Dựa trên kết quả đo lường, phương trình hồi quy phi tuyến xác định độ nhám bề mặt của lớp SUS 430 (Ra430) được xây dựng như sau:

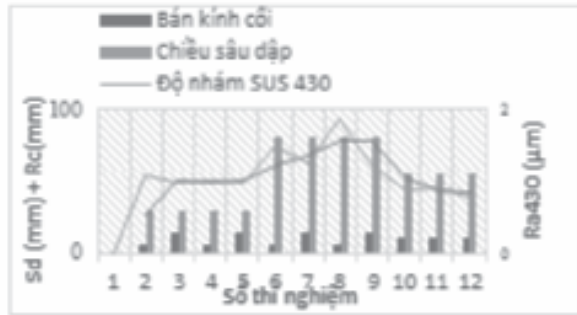
$$Ra_{430} = 0,0557.Sd^{0,140}.Rc^{0,339}.Qd^{-0,112}$$

Mô hình này đạt hệ số xác định $R^2 = 0,865$ và R^2 hiệu chỉnh là 0,808. Kiểm định ANOVA ghi nhận giá trị $F = 15,1796$ đi kèm mức ý nghĩa $P\text{-value} = 0,0019$, khẳng định mô hình đạt độ tin cậy trên 95% [1].

Thống kê hồi quy					
R	R ²	Hệ số điều chỉnh R Square		Sai số chuẩn	Tổng
0,9304	0,865	0,808		0,0617	11
Phân tích ANOVA					
	df	SS	MS	F	F lý thuyết
Do hồi quy	3	0.1728	0.0576	15.1796	0.0019
Do ngẫu nhiên	7	0.0266	0.0038		
Tổng	10	0.1993			

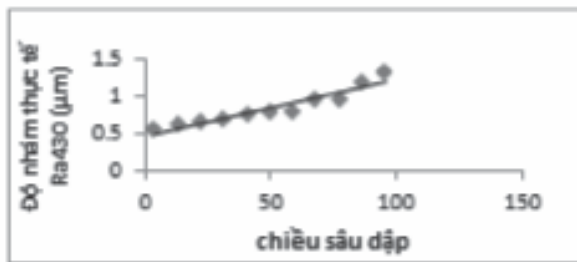
3.2. Ảnh hưởng của tương quan chiều sâu đập (Sd) và bán kính cối (Rc) và hình thái tế vi bề mặt

Phân tích phần dư: Đồ thị phân bố xác suất chuẩn của các phần dư cho thấy các điểm dữ liệu bám sát đường thẳng lý tưởng, chứng tỏ sai số có phân phối chuẩn. Sự phân tán ngẫu nhiên của phần dư so với giá trị dự đoán, khẳng định mô hình không gặp hiện tượng phương sai thay đổi.



Hình 3.1. Đồ thị phân bố xác suất chuẩn

Kiểm tra đa cộng tuyến: Các hệ số phóng đại phương sai của các biến R_c , S_d , Q_d đều nhỏ hơn 3, thấp hơn ngưỡng nguy hiểm là 5, khẳng định không tồn tại sự tương quan tuyến tính mạnh giữa các biến độc lập, đảm bảo độ ổn định của các hệ số hồi quy.



Hình 3.2. Biểu đồ biến thiên độ nhám của SUS 430 theo R_c và S_d

Xác nhận mô hình: Ba thí nghiệm lặp tại tâm (Thí nghiệm 9, 10, 11) với $R_c = 10$ mm, $Q_d = 16$ Tấn, $S_d = 55$ mm cho kết quả đo Ra_{430} lần lượt là 0,870, 0,917 và 0,786 μm , sai lệch rất nhỏ so với dự đoán của phương trình, khẳng định khả năng ngoại suy tốt của mô hình tại vùng nội suy.

Đường biểu diễn Ra_{430} phản ứng cực kỳ nhạy bén khi chiều sâu đập vượt ngưỡng trung bình. Tại độ sâu cực đại 80mm kết hợp R_c nhỏ nhất (6mm), áp lực tiếp xúc lớn gây ra hiện tượng trượt không ổn định, đẩy độ nhám lên đỉnh xấp xỉ 1,9 μm . Ngược lại, việc mở rộng

R_c lên 14mm giúp phân bố lại áp lực, làm giảm ma sát cục bộ và bảo vệ độ bóng bề mặt.



Hình 3.3. Hình ảnh hiển vi bề mặt phôi SUS 430 sau đập ở độ phóng đại 50X

Quan sát ảnh vi cấu trúc SEM/kính hiển vi điện tử (độ phóng đại 50X), có thể thấy rõ cơ chế mài mòn và biến dạng dẻo:

- Tại $S_d = 30$ mm, bề mặt SUS 430 xuất hiện các vết trượt dẻo đồng nhất, mật độ khuyết tật thấp (dưới 15 vết xước mm^2). Giá trị Ra_{430} duy trì ổn định quanh 1,0 μm .

- Khi đạt độ sâu cực đại $S_d = 80$ mm kết hợp bán kính cối gặt $R_c = 6$ mm. (Thí nghiệm 8), hình ảnh vi mô cho thấy sự đứt gãy mạng tinh thể bề mặt và hiện tượng bám dính (galling). Chiều dài vết cày xước trung bình tăng gấp 3,5 lần so với mẫu đập nông, tạo ra các rãnh sâu làm độ nhám tăng đột biến lên 1,877 μm .

- Khi tối ưu hóa bán kính cối lên $R_c = 14$ mm ở cùng độ sâu 80 mm (Thí nghiệm 9 - Ghi chú: theo dữ liệu gốc Thí nghiệm 9 ở điểm tâm, Thí nghiệm lân cận được đề cập phân tích), dòng kim loại trượt êm hơn, hiện tượng cày xước vật lý giảm rõ rệt về chiều rộng rãnh xước, duy trì độ bóng bề mặt hiệu quả.

4. KẾT LUẬN

Từ việc nghiên cứu quá trình dập vuốt vật liệu đa lớp SUS 430 / Al 1050 / SUS 316, nghiên cứu rút ra các kết luận định lượng và định tính quan trọng:

- Mô hình hồi quy phi tuyến $Ra_{430} = f(S_d, R_c, Q_d)$ đã được xây dựng và xác thực chặt chẽ bằng phân tích phần dư, không có đa cộng tuyến, đảm bảo độ tin cậy trên 95% ($R^2 = 0,865$).

- Bán kính cối R_c và chiều sâu dập S_d là hai thông số chi phối chính (đóng góp trên 80% phương sai). Bán kính R_c hẹp (6 mm) và độ sâu S_d lớn (80 mm) là nguyên nhân gốc rễ gây ra ứng suất cắt cục bộ, làm tăng mật độ vết cày xước vi mô và đẩy độ nhám lên cực đại (1,877 μm).

- Tại vùng tối ưu (chiều sâu dập 55 mm, bán kính cối 10 mm), ma sát tiếp xúc và ứng suất được phân bố hài hòa, bề mặt hạn chế tối đa nứt vi mô, giúp độ nhám Ra_{430} đạt giá trị thấp nhất và đồng nhất (dưới 0,8 μm). ❖

Ngày nhận bài: 15/4/2026

Ngày phản biện: 24/4/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Trọng Giảng, Nguyễn Đình Mẫn (2010), “*Công nghệ tạo hình kim loại tấm*”. NXB. Bách Khoa Hà Nội.
- [2]. Phạm Văn Hội (2015), “*Cơ sở thiết kế khuôn dập tấm*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [3]. Nguyễn Văn Quyền và cộng sự (2018), “*Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của chế độ bôi trơn đến chất lượng bề mặt trong quá trình dập vuốt sâu*”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam.
- [4]. Montgomery, D. C. (2017), “*Design and Analysis of Experiments*” (9th ed.). John Wiley & Sons.
- [5]. ASTM International, “*ASTM A240/A240M: Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*”.
- [6]. ASTM International, “*ASTM B209/B209M: Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate*”.
- [7]. Hosford, W. F., & Caddell, R. M. (2011), “*Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*” (4th ed.). Cambridge University Press.
- [8]. SHL Lubricants, “*Technical Data Sheet: SHL DRAW 61*”. SHL Co., Ltd.
- [9]. Tokyo Seimitsu Co., Ltd, “*ACCURETECH Surface Texture and Contour Measuring Instruments*”.