

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN PHÂN BỐ CHIỀU DÀY TRONG DẬP VUỐT SÂU VẬT LIỆU TẦM BA LỚP

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THICKNESS DISTRIBUTION IN DEEP DRAWING OF THREE-LAYER SHEET MATERIALS

ThS. **Trịnh Kiều Tuấn**

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Email: tktu@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo khảo sát ảnh hưởng của lực chặn phôi, khe hở chày-cối và bán kính góc lượn cối đến phân bố chiều dày khi dập vuốt sâu tấm ba lớp SUS304/AA1050/SUS430. Nghiên cứu kết hợp thí nghiệm kéo, 2D-DIC, mô phỏng phần tử hữu hạn và kiểm chứng thực nghiệm. Kết quả cho thấy mô hình Voce theo hướng cán 0° dự báo chiều dày phù hợp nhất. Bộ thông số BHF = 14 tấn, Wc = 3,2 mm và Rd = 10 mm giúp giảm mỏng cục bộ; sai lệch mô phỏng-thực nghiệm là 0,4-2,6%.

Từ khóa: Dập vuốt sâu; Tấm ba lớp; Phân bố chiều dày; Lực chặn phôi; Khe hở chày-cối; Bán kính cối; Mô phỏng phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

This paper examines the effects of blank holder force, punch-die clearance and die radius on thickness distribution in deep drawing of SUS304/AA1050/SUS430 three-layer sheets. Tensile testing, 2D-DIC, FEM simulation and experiments were combined. The Voce model in the rolling direction gave the best prediction. BHF = 14 tons, Wc = 3.2 mm and Rd = 10 mm reduced local thinning, with deviations of 0.4-2.6%.

Keywords: Deep drawing; Three-layer sheet; Thickness distribution; Blank holder force; Punch-die clearance; Die radius; Finite element simulation.

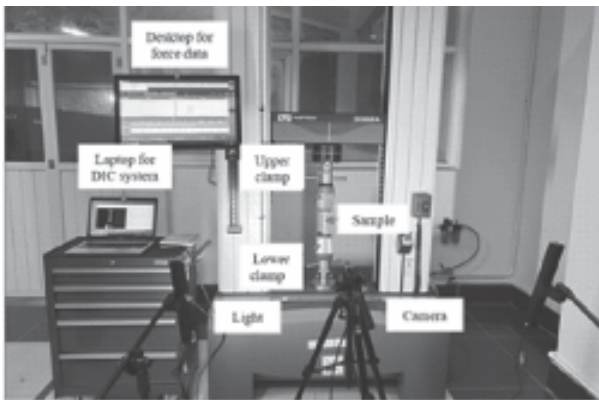
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu tấm ba lớp kim loại được quan tâm vì kết hợp được ưu điểm của nhiều vật liệu, như độ bền và khả năng chống ăn mòn của thép không gỉ với tính nhẹ, dẻo của nhôm. Trong dập vuốt sâu, sự khác biệt cơ tính giữa các lớp làm biến dạng theo chiều dày không đồng nhất, dễ gây mỏng cục bộ, nhăn hoặc rách ở vùng chuyển tiếp đáy-thành cốc [1-5].

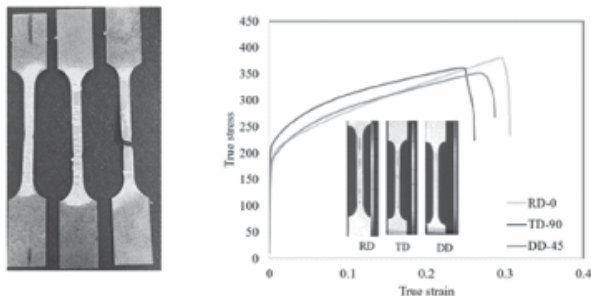
Chất lượng sản phẩm còn chịu tác động mạnh của thông số công nghệ. Lực chặn phôi (BHF) điều khiển dòng chảy từ vành phôi; khe hở chày-cối (Wc) ảnh hưởng đến mức cản dòng; bán kính góc lượn cối (Rd) quyết định mức uốn của tấm [6, 7]. Bài báo này phân tích ảnh hưởng của ba thông số trên đến phân bố chiều dày của cốc trụ dập từ tấm ba lớp SUS304/AA1050/SUS430.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Vật liệu khảo sát là tấm ba lớp SUS304/AA1050/SUS430 dày 2,5 mm, gồm SUS304 0,5 mm, AA1050 1,2 mm và SUS430 0,8 mm. Mẫu kéo được cắt theo các hướng 0°, 45° và 90° so với hướng cán. Thí nghiệm kéo kết hợp 2D-DIC cho thấy vật liệu có dị hướng rõ; giới hạn chảy tương ứng là 208,3 MPa, 188,5 MPa và 216,2 MPa.

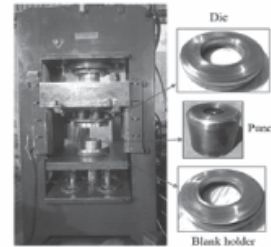
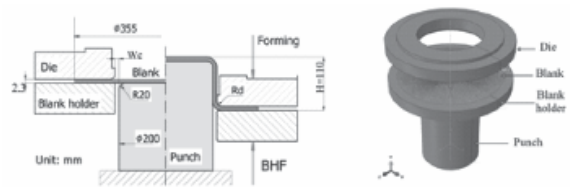


Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm kéo vật liệu 3 lớp



Hình 2. Kết quả kéo vật liệu 3 lớp

Hai quy luật hóa bền Swift và Voce được hiệu chỉnh từ số liệu kéo; tiêu chuẩn Hill48-R được dùng cho dị hướng phẳng. Mô phỏng được thực hiện bằng ABAQUS với phần tử vỏ S4R cho phôi, các dụng cụ coi là vật rắn. Điều kiện ban đầu là BHF = 10 tấn, Rd = 8 mm, Wc = 3,0 mm. Miền khảo sát gồm BHF = 6-20 tấn, Wc = 2,6-4,0 mm và Rd = 2-14 mm.

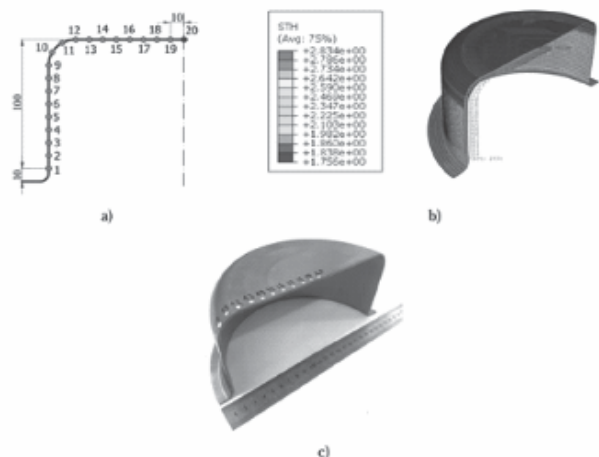


Hình 3. Sơ đồ quy trình, mô hình phần tử hữu hạn sử dụng trong mô phỏng số và sơ đồ thí nghiệm dập sâu cốc hình trụ

Bảng 1. Miền khảo sát các thông số công nghệ

Thông số	Miền khảo sát	Điều kiện ban đầu
BHF	6-20 tấn	10 tấn
Wc	2,6-4,0 mm	3,0 mm
Rd	2-14 mm	8 mm

Chiều dày thành cốc được đo tại 20 vị trí bằng panme điện tử độ phân giải 0,01 mm.

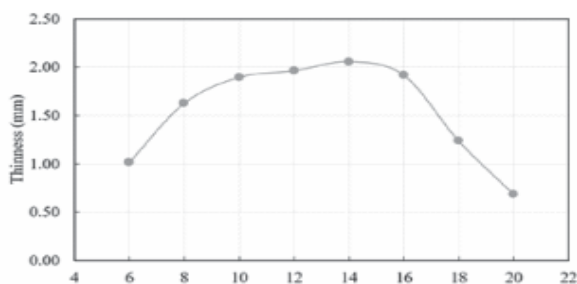


Hình 4. Xác định sự phân bố độ dày dọc theo thành của cốc hình trụ được dập sâu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của lực chặn phôi

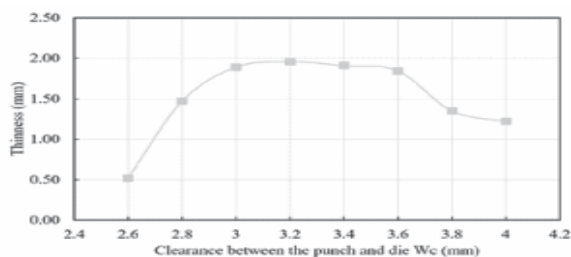
Khi BHF thấp, vật liệu từ vành phôi chảy quá tự do, dễ gây nhăn và mất ổn định. Chiều dày nhỏ nhất đạt khoảng 1,02 mm tại BHF = 6 tấn và 1,63 mm tại BHF = 8 tấn. Khi BHF = 14 tấn, dòng chảy được khống chế tốt, chiều dày nhỏ nhất đạt khoảng 2,06 mm. Nếu BHF tăng đến 18-20 tấn, thành cốc chịu kéo lớn hơn và mỏng cục bộ tăng. Do đó, BHF = 14 tấn là giá trị thích hợp.



Hình 5. Ảnh hưởng của lực chặn phôi đến chiều dày.

3.2. Ảnh hưởng của khe hở chày-cối

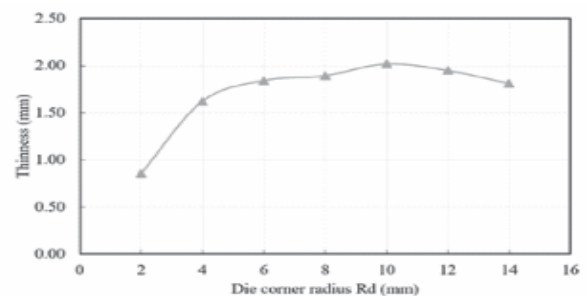
Khi $W_c = 2,6$ mm, khe hở nhỏ làm dòng chảy bị bó mạnh, gây tập trung biến dạng và chiều dày nhỏ nhất giảm xuống khoảng 0,52 mm. Trong khoảng $W_c = 3,0-3,4$ mm, vật liệu chảy ổn định hơn. $W_c = 3,2$ mm cho kết quả tốt nhất với chiều dày nhỏ nhất khoảng 1,96 mm. Ngược lại, W_c quá lớn làm giảm dẫn hướng của khuôn và dễ gây nhăn.



Hình 6. Ảnh hưởng của khe hở chày – cối.

3.3. Ảnh hưởng của bán kính góc lượn cối

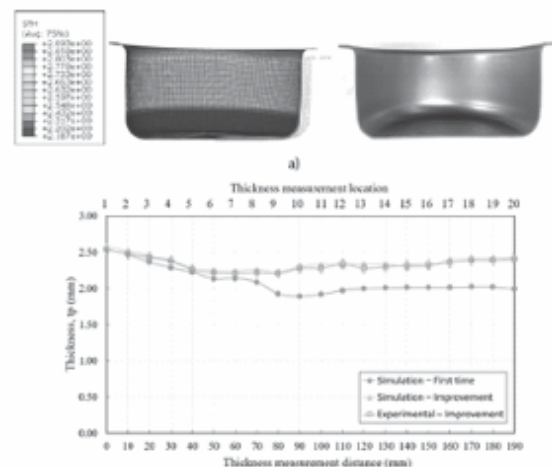
Bán kính cối nhỏ làm vật liệu bị uốn gât. Với $R_d = 2$ mm, chiều dày nhỏ nhất chỉ khoảng 0,85 mm. Khi R_d tăng lên 8-12 mm, dòng chảy êm hơn và mỏng cục bộ giảm. $R_d = 10$ mm cho phân bố chiều dày đồng đều nhất, chiều dày nhỏ nhất khoảng 2,02 mm. Nếu R_d quá lớn, khả năng kiểm soát dòng chảy giảm. Vì vậy, $R_d = 10$ mm là giá trị tối ưu.



Hình 7. Ảnh hưởng của bán kính góc lượn cối

3.4. Kiểm chứng bộ thông số tối ưu

Bộ thông số tối ưu được chọn là BHF = 14 tấn, $W_c = 3,2$ mm và $R_d = 10$ mm. So với điều kiện ban đầu, mô phỏng tối ưu làm tăng chiều dày vùng nguy hiểm từ khoảng 1,89-1,93 mm lên 2,21-2,23 mm.



Hình 8. Biến dạng của cốc hình trụ thu được từ mô phỏng số và thực nghiệm

Thực nghiệm cho chiều dày trong khoảng 2,21-2,41 mm, sai lệch mô phỏng-thực nghiệm 0,4-2,6%. Điều này xác nhận mô hình FEM kết hợp Voce₀ và Hill48-R đủ tin cậy để dự báo chiều dày.

Bảng 2. Giá trị thông số thích hợp và hiệu quả chính

Thông số	Giá trị thích hợp	Hiệu quả chính
BHF	14 tấn	Cân bằng chống nhăn và dòng chảy
Wc	3,2 mm	Giảm bó dòng, duy trì dẫn hướng
Rd	10 mm	Giảm uốn gât, ổn định biến dạng
Kiểm chứng	Sai lệch 0,4-2,6%	Phù hợp giữa FEM và thực nghiệm

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích ảnh hưởng của BHF, Wc và Rd đến phân bố chiều dày trong dập vuốt sâu tấm ba lớp SUS304/AA1050/SUS430. Mô hình Voce₀ cho khả năng dự báo tốt nhất. Bộ thông số BHF = 14 tấn, Wc = 3,2 mm và Rd = 10 mm giúp điều hòa dòng chảy, hạn chế mỏng cục bộ và tăng độ đồng đều chiều dày. Sai lệch kiểm chứng 0,4-2,6% cho thấy phương pháp mô phỏng-thực nghiệm có thể dùng để tối ưu hóa công nghệ dập vuốt sâu vật liệu tấm ba lớp. ❖

Ngày nhận bài: 16/6/2026
Ngày phản biện: 20/6/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. Tsukamoto (2015), "Impact compressive behavior of deep-drawn cups consisting of aluminum/duralumin multi-layered graded structures". Materials Science and Engineering B, vol. 198, pp. 25-34.
- [2]. R. Zafar, L. Lihui, and Z. Rongjing (2015), "Analysis of hydro-mechanical deep drawing and the effects of cavity pressure on quality of simultaneously formed three-layer Al alloy parts". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 80, no. 9, pp. 2117-2128.
- [3]. A. Atrian and F. Fereshteh-Saniee (2013), "Deep drawing process of steel/brass laminated sheets". Composites Part B: Engineering, vol. 47, pp. 75-81.
- [4]. P. R. Tiwari, A. Rathore, and M. G. Bodkhe (2022), "Factors affecting the deep drawing process - A review". Materials Today: Proceedings, vol. 56, pp. 2902-2908.
- [5]. H. W. Swift (1952), "Plastic instability under plane stress". Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 1, no. 1, pp. 1-18.
- [6]. E. Voce (1948), "The relationship between stress and strain for homogeneous deformation". Journal of the Institute of Metals, vol. 74, pp. 537-562.
- [7]. R. Hill (1948), "A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals". Proceedings of the Royal Society of London A, vol. 193, pp. 281-297.