

Nghiên cứu ảnh hưởng của góc lượn cối đến quá trình dập thủy tĩnh phôi tấm kim loại

Effect of the Die Conner Radius on the Sheet Metal Hydroforming Process

Lê Trung Kiên*, Phạm Văn Nghệ

¹ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam
Đến Tòa soạn: 12-5-2016; chấp nhận đăng: 20-12-2016

Tóm tắt

Nguyên công dập vuốt được sử dụng rất nhiều trong quá trình tạo hình các chi tiết phức tạp trong đó bao gồm cả công nghệ dập vuốt truyền thống, dập vuốt thủy cơ, dập vuốt thủy tĩnh. Mỗi công nghệ có những ưu điểm khác nhau và ứng dụng phụ thuộc vào vật liệu, sản phẩm, điều kiện sản xuất ... Công nghệ dập thủy tĩnh được sử dụng cho những chi tiết cần có bán kính góc lượn chi tiết nhỏ mà các phương pháp khác khó hoặc không thể chế tạo. Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định ảnh hưởng của bán kính góc lượn cối trong quá trình dập thủy tĩnh chi tiết tấm đến khả năng tạo hình và thông số lực chặn. Nghiên cứu được thực hiện với thép ZAM dày 0,8 mm với các bán kính góc lượn cối 2mm, 3mm, 4 mm, 5 mm và 6mm..

Từ khóa: Dập thủy tĩnh, Biến mỏng, Nhăn, Rách...

Abstract

Drawing is used a lot in the process of the intricate part shaping including traditional drawing, hydro-mechanical deep drawing, and hydrostatic deep drawing. Each technology has different advantages and applications that depend on the materials, products and production conditions... Hydrostatic deep drawing is used for the products, required die shoulder and die radius little, that is difficult or impossible to fabricate by other method. The objective of the present study is to determine the influence of work piece materials on die shoulder radius in sheet hydrostatic forming process. The die shoulder radius plays a vital role in manufacturing the product in deep drawing process to formability and holder force. The present work deals with ZAM steel blank of 0,8 mm in thickness, and 2mm, 3mm, 4 mm, 5 mm and 6mm for corner radii of the die.

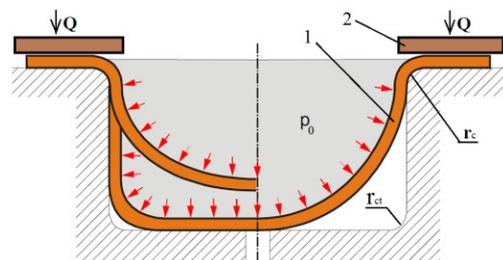
Keywords: Hydrostatic Forming, Thinning, Wrinkle, Crack ...

1. Đặt vấn đề

Đã có nhiều nghiên cứu về quá trình và tối ưu các thông số công nghệ khi dập vuốt truyền thống [1-3]. Các cơ chế biến dạng, hệ số dập vuốt, mức độ biến dạng tối đa, sự biến mỏng thành hoặc những dạng hỏng chi tiết đã được nghiên cứu, công bố và áp dụng vào sản xuất công nghiệp. Tuy nhiên, công nghệ dập vuốt truyền thống còn có rất nhiều các nhược điểm như: khó chế tạo được các chi tiết có hình dạng phức tạp, tổn kinh phí khi phải tạo cả chày và cối nên khó chế tạo khi sản lượng nhỏ ... Công nghệ dập thủy tĩnh được phát triển và ứng dụng để khắc phục những nhược điểm của công nghệ dập vuốt truyền thống. Công nghệ này với các ưu điểm: Bán kính góc lượn nhỏ, hình dáng hình học chính xác, năng suất cao, tiết kiệm chi phí do chỉ chế tạo cối thủy tĩnh [4]. Hai công nghệ này đã được nhiều nhóm nghiên cứu thực hiện và đưa ra các so sánh với các ưu nhược điểm khác nhau [5,6]. Một trong những yếu tố hình học của khuôn quyết định sự hình thành chi tiết là bán kính

góc lượn cối, bán kính góc lượn đáy chi tiết. Do vậy, nhóm nghiên cứu triển khai công việc khảo sát ảnh hưởng của bán kính góc miệng lượn miệng và đáy cối đến quá trình hình thành và biến dạng chi tiết dạng cốc trụ với vật liệu thép ZAM dày 0,8 mm. Phương pháp nghiên cứu được thực hiện bằng mô phỏng số kết hợp thực nghiệm. Các kết quả mô phỏng được kiểm chứng bằng một trường hợp tương ứng với bán kính góc lượn miệng cối $r_c = 4\text{mm}$ và bán kính đáy cối $r_{ct} = 2\text{mm}$.

2. Mô phỏng quá trình dập chi tiết cốc trụ với bán kính góc lượn cối khác nhau.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu

* Corresponding author: Tel.: (+84) 915021575
Email: kien.letrung@hust.edu.vn

Sơ đồ nghiên cứu như hình 1. Phôi 1 được đặt vào giữa tấm chặn 2 và cối thủy tinh. Khi chất lỏng được bơm vào trong lòng cối tác dụng trực tiếp lên bề mặt phôi sẽ làm biến dạng phôi theo hình dạng cối.

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu sử dụng nghiên cứu là thép cán nóng được phủ lớp kim loại (ZAM) với thành phần và tính chất như sau [8]:

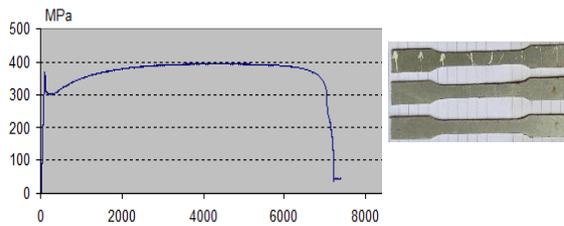
Bảng 1. Thành phần hoá học lớp phủ thép ZAM (%)

Zn	Al	Mg
91%	6%	3%

Bảng 2. Thành phần hoá học thép cán nóng SPHC(%)

C	Mn	P	S
≤ 0.15	≤ 0.60	≤ 0.050	≤ 0.050

Giới hạn chảy của vật liệu thép ZAM có được nhờ thí nghiệm kéo trên máy MTS-809. Axial/Torsional Test System:

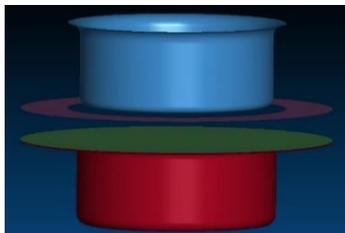


Hình 2. Thí nghiệm kéo mẫu vật liệu và đồ thị quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu khi kéo

Kết quả kéo cho $\sigma_c = 300 \text{ MPa} = 30\text{kG/mm}^2$

2.2. Xây dựng mô hình hình học

Phương pháp phần tử hữu hạn gần đây đã được phát triển để phân tích và dự đoán các quá trình, ứng suất và biến dạng khi tạo hình. Do đó, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn.



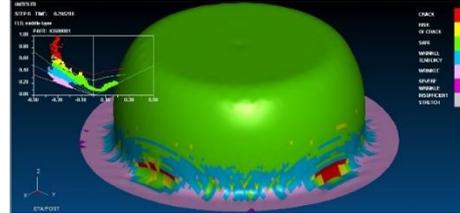
Hình 3. Xây dựng mô hình hình học

Mô hình hình học được xây dựng như hình 3. Đường kính chi tiết $\phi 60 \text{ mm}$, chiều dày phôi 0,8mm, chiều sâu chi tiết 25mm.

2.3. Kết quả mô phỏng

Bằng phương pháp tiệm cận ơle, tiến hành chạy các bài toán trên máy tính, để sản phẩm tạo hình đạt yêu cầu về hình dạng, kích thước.

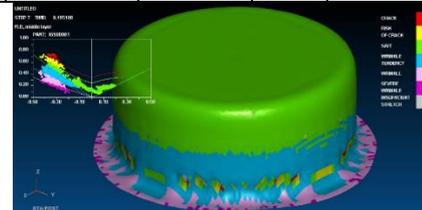
Xét trường hợp bán kính góc lượn miệng cối thủy tinh $r_c = 2\text{mm}$; lần lượt bán kính đáy chi tiết $r_{ct} = 1\text{mm}, 2\text{mm}, 3\text{mm}, 4\text{mm}$ và 5 mm . Quan hệ lực chặn và mức độ điền đầy góc lượn chi tiết được chỉ trong bảng 2.



Hình 4. Chi tiết hình thành khi $r_c = 2\text{mm}, r_{ct} = 2\text{mm}$.

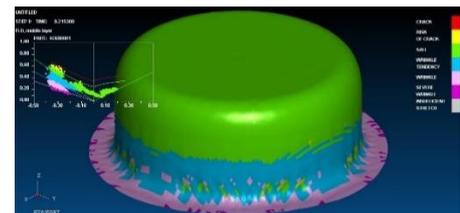
Khi bán kính góc lượn miệng cối $r_c = 2\text{mm}$, tất cả các trường hợp với các dải lực chặn khác nhau đều gây nên rách phôi, không điền đầy được.

r_c (mm)	Lực chặn nhỏ nhất Q_1 (kN)	Lực chặn lớn nhất Q_2 (kN)	r_{ct} (mm)	Tình trạng chi tiết
2	0	25	1	không đầy, rách
	0	25	2	không đầy, rách
	0	25	3	không đầy, rách
	0	25	4	không đầy, rách
	0	25	5	không đầy, rách

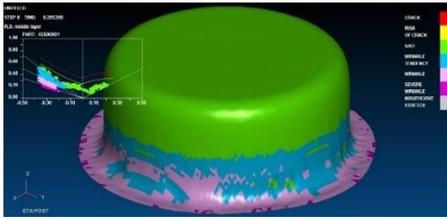


Hình 5. Chi tiết khi $r_c = 2\text{mm}, r_{ct} = 1\text{mm}, Q = 25\text{kN}$

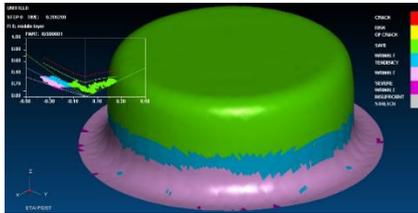
Khi bán kính góc lượn miệng cối $r_c = 3\text{mm}$, $r_{ct} = 1\text{mm}, 2\text{mm}, 3\text{mm}$ chi tiết không thể điền đầy đáy cối và bị rách tại miệng cối (hình 5). Với bán kính đáy chi tiết $r_{ct} = 4\text{mm}$ và 5mm , chi tiết tạo hình đạt kích thước và hình dáng yêu cầu, lực chặn $Q = (12 \div 25) \text{ kN}$.



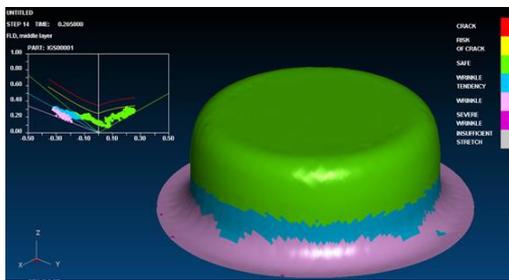
Hình 6. Chi tiết khi $r_c = 3\text{mm}, r_{ct} = 5\text{mm}, Q = 25 \text{ kN}$



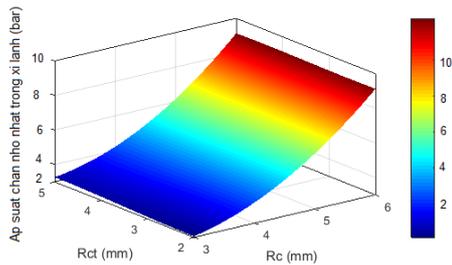
Hình 7. Chi tiết khi $r_c = 4\text{mm}$, $r_{ct} = 3\text{mm}$. $Q = 30\text{ kN}$



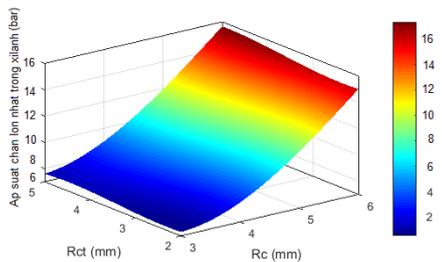
Hình 8. Chi tiết khi $r_c = 5\text{mm}$, $r_{ct} = 3\text{mm}$. $Q = 40\text{ kN}$



Hình 9. Chi tiết khi $r_c = 6\text{mm}$, $r_{ct} = 3\text{mm}$. $Q = 50\text{ kN}$



a - Miền làm việc của lực chặn nhỏ nhất



b - Miền làm việc của lực chặn lớn nhất

Hình 10. Miền làm việc của lực chặn

Lần lượt thực hiện với các bán kính góc lượn miệng cối $r_c = 3\text{mm}$, 4mm , 5mm và 6mm tương ứng với bán kính góc lượn đáy chi tiết $r_{ct} = 1\text{mm}$, 2mm , 3mm , 4mm và 5mm ta được các giá trị trong bảng 3.

Nhằm thuận lợi cho quá trình thực nghiệm sau này, ta chuyển đổi áp lực chặn lên chi tiết sang thông số áp suất trong lòng xi lanh chặn. Hệ thống thực nghiệm được thiết lập trên máy ép thủy lực 125 tấn với đường kính xi lanh công tác 220mm. Trong quá trình thực nghiệm, ta sẽ thiết lập áp lực chặn theo thông số áp suất này. Tiến hành điều chỉnh áp suất xi lanh chặn P (giá trị P được hệ thống đo áp suất – hành trình đo và lưu giữ kết quả).

Trong tất cả các trường hợp, khi bán kính chi tiết nhỏ $r_{ct} = 1\text{mm}$ không thể điền đầy được tại góc đáy chi tiết, với các trường hợp bán kính đáy chi tiết $r_{ct} > 2\text{mm}$ thì chi tiết điền đầy rẽ dàng hơn.

Bảng 3. Quan hệ giữa lực chặn và bán kính r_{ct} tương ứng với các giá trị bán kính góc lượn miệng cối r_c .

r_c (mm)	Q_1 (kN)	P_1 (bar)	Q_2 (kN)	P_2 (bar)	r_{ct} (mm)	Tình trạng chi tiết
2	0	0	25	5,3	1	không đầy, rách
	0	0	25	5,3	2	không đầy, rách
	0	0	25	5,3	3	không đầy, rách
	0	0	25	5,3	4	không đầy, rách
	0	0	25	5,3	5	không đầy, rách
3	10	2,6	25	5,3	1	rách ở góc lượn
	10	2,6	25	5,3	2	rách ở góc lượn
	10	2,6	25	5,3	3	rách ở góc lượn
	12	3,2	25	5,3	4	Đạt
	12	3,2	25	5,3	5	Đạt
4	19	5,0	30	7,9	1	Nhấn, không điền đầy
	19	5,0	32	8,4	2	Đạt
	20	5,3	33	8,7	3	Đạt
	20	5,3	35	9,2	4	Đạt
	20	5,3	35	9,2	5	Đạt
5	22	5,8	45	11,8	1	Nhấn, không điền đầy
	23	6,1	47	12,3	2	Đạt
	23	6,1	47	12,3	3	Đạt
	23	6,1	48	12,6	4	Đạt
	23	6,1	50	13,2	5	Đạt
6	35	9,2	50	13,2	1	Nhấn, không điền đầy
	35	9,2	55	14,4	2	Đạt
	35	9,2	55	14,4	3	Đạt
	35	9,2	58	15,3	4	Đạt
	35	9,2	58	15,3	5	Đạt

Từ các kết quả bảng 3, ta xây dựng được miền lực chặn tối thiểu và miền lực chặn tối đa phụ thuộc vào bán kính góc lượn miệng cối r_c và bán kính góc lượn chi tiết r_{ct} . Miền làm việc của lực chặn khi bán kính góc lượn cối, bán kính góc lượn chi tiết thay đổi nằm trong mặt giới hạn trên và mặt giới hạn dưới của các mặt lực chặn nhỏ nhất và lớn nhất (hình 10).

Từ hình 10 ta thấy rằng bán kính góc lượn chi tiết càng lớn thì miền lực chặn càng được mở rộng, đồng thời giá trị lực chặn Q cũng tăng lên để tránh hiện tượng nhân do khả năng kéo phôi vào trong lòng cối dễ dàng hơn (ứng suất hướng kính σ_p giảm đi như vậy theo Huber Mises thì ứng suất chặn σ_z phải tăng lên).

4. Thục nghiệm

Nhằm kiểm chứng các kết quả mô phỏng, thực nghiệm được tiến hành cho trường hợp bán kính lượn cối $r_c = 4\text{mm}$ và bán kính chi tiết $r_{ct} = 2\text{mm}$.

Hệ thống thực nghiệm tiến hành trên máy ép thủy lực 125 tấn cùng với hệ thống cấp chất lỏng cao áp, các thiết bị thu thập kết quả đo và xử lý tín hiệu.

Khuôn thí nghiệm được tác giả chế tạo với kích thước lòng cối như trong bài toán mô phỏng.

- Đường kính lòng cối: $\phi 60\text{ mm}$
- Bán kính góc lượn miệng cối: $r_c = 4\text{ mm}$
- Bán kính góc lượn đáy: $r_{ct} = 2\text{ mm}$
- Chiều sâu lòng cối: 25 mm

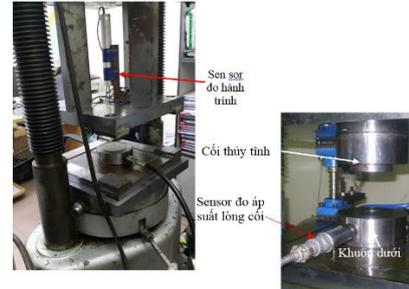
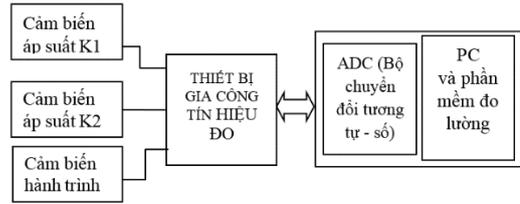
Hệ thống đo áp suất hành trình bao gồm cảm biến K_1 đo áp suất trong cối thủy tinh, cảm biến K_2 đo áp suất trong xilanh chặn máy ép, cảm biến hành trình đo hành trình tạo hình chi tiết trong lòng cối. Các tín hiệu đo được thu thập và xử lý tín hiệu bằng máy tính.

Đặt lực chặn tương ứng áp suất xi lanh chặn $P_1 = 8\text{ bar}$ tương đương lực chặn 30 kN .

Trên hình 12a là hiện tượng lệch do dòng kim loại khi kéo vào lòng cối không đều; trên hình 12b là hiện tượng nhân vành và hình dạng phôi chưa đạt được theo thiết kế do lực chặn thấp.

Trên hình 12c thể hiện sự thay đổi hình dạng phôi tương ứng với mỗi mức độ áp suất khác nhau lần lượt là 300bar, 330 bar, 430 bar. Với áp suất 430 bar, chi tiết đạt yêu cầu tạo hình điền đầy góc chi tiết, còn hai trường hợp áp suất còn lại do giá trị thấp nên chưa đạt được về hình dạng yêu cầu.

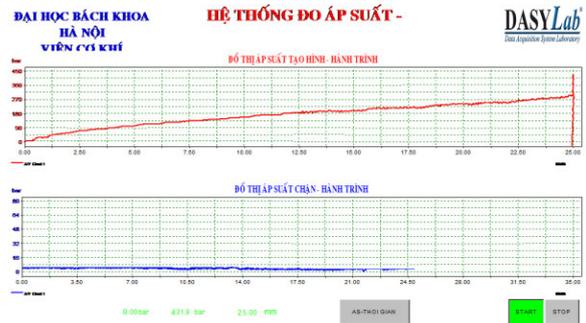
Thực nghiệm cho thấy kết quả tương đồng với các kết quả mô phỏng. Mối quan hệ giữa giá trị bán kính góc lượn cối, bán kính góc lượn đáy chi tiết và lực chặn trong mô phỏng là giá trị tham khảo trong thực tiễn nhằm giảm các bước tìm các bán kính tối ưu khi sản xuất.



Hình 11. Hệ thống thực nghiệm kiểm chứng



c - chi tiết với các mức độ biến dạng khác nhau



d - thu thập và xử lý tín hiệu các thông số áp suất – hành trình

Hình 12. Một số hình ảnh tạo hình chi tiết

5. Kết luận

Các kết luận từ nghiên cứu như sau:

1. Khi tăng bán kính góc lượn miệng cối r_c , lực chặn cần thiết tối thiểu và tối đa tăng sấp xỉ 45% khi bán kính r_c tăng 1 đơn vị. Nguyên nhân bao gồm:

- Một là do khi bán kính r_c tăng lên làm khả năng kéo phôi vào trong cối dễ dàng hơn, để cân bằng ứng suất bắt buộc phải tăng ứng suất chặn lên.

- Hai là sự mất ổn định tại bán kính góc lượn của cối gây nên tại phần vành khi tăng r_c , để không mất ổn định thì phải tăng giá trị lực chặn khi tăng r_c .

2. Với bán kính góc lượn đáy chỉ nhỏ (1mm), sự điền đầy là rất khó (do tỷ số S/D tại bán kính góc lượn lớn). Khi tăng bán kính góc lượn chi tiết r_{ct} lên một đơn vị, giá trị lực chặn ở đây thay đổi không đáng kể. Để điền đầy các bán kính góc lượn chi tiết thì cần tăng áp suất chất lỏng trong lòng cối p_0 .

Tài liệu tham khảo

- [1] J.P. Fan et al., 3D finite element simulation of deep drawing with damage development, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46 (2006), 1035–1044
- [2] Marcelo Elgueta, Ductile damage analysis of sheet metal forming, *Journal of Materials Processing Technology* 121 (2002), 148 – 156.
- [3] A.G. Mamalis, D.E. et al., On the finite element modelling of the deep-drawing of square sections of coated steels, *Journal of Materials Processing Technology* 58 (1996), 153–159.
- [4] Taylan Altan (2006), Processes for hydroforming sheet metal 1, *Stamping Journal*, (Feb 2006), 40-41
- [5] R. Narayanaswamy et al., A comparative study of deep drawing with conventional, isostatic, and hydrostatic pressure, *Journal of Mechanical Working Technology*, 6 (1982) 227-234
- [6] S.A. Zahedi et al., Investigation of conventional deep drawing and hydroforming deep drawing via experimental and finite element simulation, *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 3 No. 9 (2010), 1009-1013.
- [7] M. Jurković, I. Mamuzić, E. Karabegović. The sheet metal forming with Hydraulic fluid pressure. *Metalurgija* 43 (2004), 315-322
- [8] Nisshin Steel Quality Products, ZAM.
- [9] Phạm Văn Nghệ. Công nghệ dập thủy tĩnh, NXB Bách Khoa – Hà Nội, 2006.