

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỰC NGHIỆM KHUÔN DẬP VUỐT SÂU SẢN PHẨM QUÁNH 140 MM

DESIGN, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF A DEEP DRAWING DIE FOR A 140 MM SAUCEPAN PRODUCT

ThS. **Trịnh Kiều Tuấn***, **Nguyễn Đức Thắng**, **Lê Đức Hòa**
 Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

*Email liên hệ: tktu@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quá trình thiết kế, chế tạo và thực nghiệm bộ khuôn dập vuốt sâu dùng để tạo hình sản phẩm quánh kim loại đường kính 140 mm, chiều cao 100 mm từ vật liệu tấm SUS304/A11050/SUS430 có chiều dày 2,2 mm. Trên cơ sở phân tích hình dạng chi tiết, các thông số công nghệ chính được xác định gồm đường kính phôi ban đầu, khe hở chày - cối, lực chặn phôi, vật liệu chế tạo khuôn và bán kính lượn cối. Kết quả tính toán cho thấy phôi tròn có đường kính lý thuyết 277,67 mm; sau khi cộng lượng dư cắt vành, đường kính phôi được chọn là 300 mm. Vật liệu SKD11 được lựa chọn cho các chi tiết làm việc chính của khuôn do có độ cứng sau nhiệt luyện 58 - 62 HRC, khả năng chống mài mòn và giữ biên dạng tốt. Thực nghiệm được tiến hành trên máy ép thủy lực song động 300 tấn với ba giá trị bán kính lượn cối $R = 4$ mm, $R = 8$ mm và $R = 13,2$ mm. Kết quả cho thấy R nhỏ gây tập trung ứng suất và rách sản phẩm tại vùng chuyển tiếp đáy - thành, trong khi $R = 13,2$ mm giúp vật liệu chảy đều, sản phẩm không rách và đạt hình dạng yêu cầu. Nghiên cứu khẳng định vai trò quan trọng của bán kính lượn cối, điều kiện bôi trơn và lực chặn phôi trong thiết kế khuôn dập vuốt sâu sản phẩm gia dụng.

Từ khóa: Dập vuốt sâu; Khuôn dập vuốt; Quánh 140 mm; SKD11; Bán kính lượn cối; Lực chặn phôi; Máy ép thủy lực.

ABSTRACT

This paper presents the design, manufacturing and experimental evaluation of a deep drawing die for forming a 140 mm saucepan product with a height of 100 mm from 2.2 mm thick SUS304/A11050/SUS430 sheet material. Based on the geometry of the product, the main technological parameters were determined, including initial blank diameter, punch-die clearance, blank holder force, die material and die shoulder radius. The calculated theoretical blank diameter was 277.67 mm; after adding trimming allowance, a 300 mm circular blank was selected. SKD11 tool steel was chosen for the working parts of the die due to its high hardness after heat treatment, wear resistance and ability to maintain the working profile. Experiments were conducted on a 300-ton double-action hydraulic press with two die shoulder radii, $R = 4$ mm, $R = 8$ mm and $R = 13.2$ mm. The results show that a small radius leads to high stress concentration and tearing at the bottom-wall transition zone, whereas $R = 13.2$ mm enables smoother material flow and produces a defect-free product. The study confirms the importance of die shoulder radius, lubrication condition and blank holder force in the design of deep drawing dies for household metal products.

Keywords: Deep drawing; drawing die; 140 mm saucepan; SKD11; Die shoulder radius; Blank holder force; Hydraulic press.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công kim loại tấm là nhóm công nghệ nền tảng trong cơ khí chế tạo, được ứng dụng rộng trong sản xuất ô tô, xe máy, thiết bị điện, bao bì kim loại và đồ gia dụng. Trong các phương pháp tạo hình tấm, dập vuốt sâu cho phép biến phôi phẳng thành chi tiết rỗng dạng cốc, trụ hoặc hộp với độ chính xác hình học cao, năng suất lớn và khả năng tự động hóa tốt. Ưu điểm của phương pháp này là tiết kiệm vật liệu, giảm số nguyên công cắt gọt, tạo được sản phẩm có thành mỏng nhưng vẫn bảo đảm độ bền và độ đồng đều khi sản xuất hàng loạt [1], [2].

Đối với sản phẩm gia dụng như nồi, chảo, chậu rửa hoặc vỏ thiết bị, yêu cầu kỹ thuật không chỉ nằm ở kích thước mà còn ở độ bền, độ bóng bề mặt, khả năng chống ăn mòn và tính ổn định khi sử dụng. Vật liệu tấm SUS304/AI1050/SUS430 có ưu điểm về chống gỉ, dẫn nhiệt, độ bền và khả năng tái chế, nhưng khi dập vuốt sâu lại dễ xuất hiện các khuyết tật như nhăn vênh, rách thành, biến mỏng không đều hoặc xước bề mặt. Vì vậy, việc tính toán hợp lý kích thước phôi, lực chặn, khe hở chày - cối và bán kính lượn cối có ý nghĩa quyết định đối với chất lượng sản phẩm.

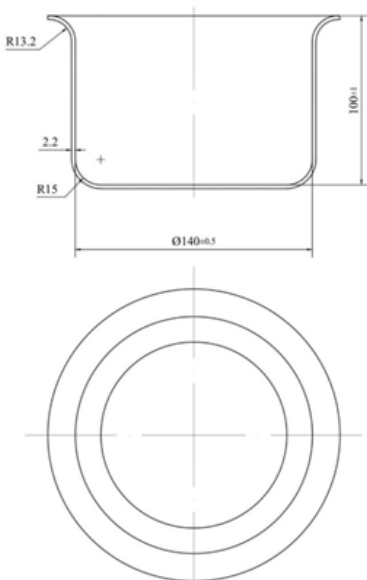
Nội dung nghiên cứu tập trung vào thiết kế, chế tạo và kiểm chứng thực nghiệm bộ khuôn dập vuốt sâu sản phẩm quánh 140 mm. Điểm nhấn của nghiên cứu là đánh giá ảnh hưởng của bán kính lượn cối đến khả năng tạo hình của vật liệu. Đây là thông số trực tiếp chi phối dòng chảy vật liệu từ vành phôi vào lòng cối; nếu bán kính quá nhỏ, ma sát và ứng suất kéo tăng mạnh, còn nếu bán kính phù hợp, quá trình biến dạng diễn ra êm hơn và giảm nguy cơ rách chi tiết.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu là sản phẩm quánh kim loại dạng tròn xoay, đáy kín, thành mỏng, đường kính miệng 140 mm, chiều cao 100 mm, chiều dày vật liệu 2,2 mm và bán kính chuyển tiếp đáy khoảng 15 mm. Với tỷ số chiều cao trên đường kính tương đối lớn, chi tiết được xếp vào nhóm dập vuốt sâu, cần có tấm chặn phôi để hạn chế nhăn và kiểm soát dòng chảy kim loại. Bảng 1 trình bày các thông số chính của sản phẩm.

Bảng 1. Các kích thước cơ bản của sản phẩm

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Đường kính miệng	D	140 mm
Chiều cao sản phẩm	H	100 mm
Chiều dày vật liệu	t	2,2 mm
Bán kính chuyển tiếp	r	15 mm

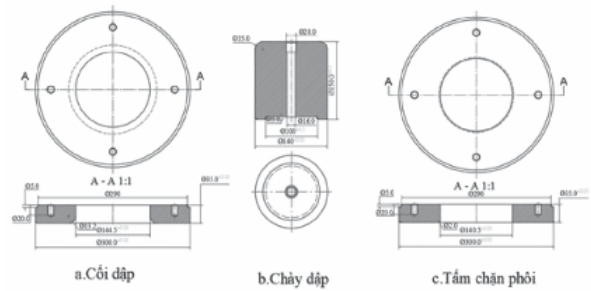


Hình 1. Bản vẽ chi tiết Quánh 140 mm

Phương pháp nghiên cứu gồm ba bước chính: Tính toán thông số công nghệ, thiết kế - chế tạo các chi tiết khuôn và thực nghiệm dập vuốt. Khi xác định kích thước phôi, chi tiết được chia thành các phần tử hình học đơn giản, sau đó áp dụng điều kiện cân bằng diện tích trong giả thiết chiều dày phôi thay đổi không đáng kể. Tổng diện tích bề mặt quy đổi của chi tiết cho kết quả đường kính phôi lý thuyết 277,67 mm. Để bảo đảm đủ lượng dư cho cắt vánh và hiệu chỉnh sai lệch sau tạo hình, đường kính phôi ban đầu được chọn là 300 mm.

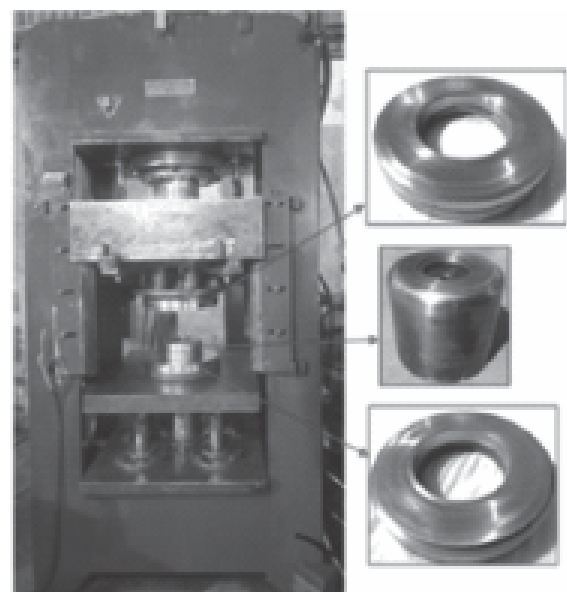
Khe hở một phía giữa chày và cối được xác định theo chiều dày vật liệu, chọn $u = 2,25$ mm đối với phôi dày 2,2 mm. Lực chặn phôi được xác định gần đúng theo áp lực chặn riêng và diện tích vùng vánh chịu chặn; giá trị tính toán đạt khoảng 157540,08 N. Lực chặn có nhiệm vụ giữ ổn định mép phôi, ngăn nếp nhăn nhưng không được quá lớn để tránh cản trở vật liệu chảy vào lòng cối. Dầu bôi trơn Lilia Press RB 90 được sử dụng nhằm giảm ma sát, hạn chế trầy xước bề mặt và hỗ trợ tạo hình vật liệu khó dập.

Các chi tiết làm việc chính gồm chày, cối và tấm chặn phôi. Do khuôn chịu lực nén lớn, ma sát cao và biến dạng lặp lại, vật liệu SKD11 được lựa chọn cho chi tiết làm việc. SKD11 là thép dụng cụ hợp kim có hàm lượng cacbon và crom cao, sau nhiệt luyện có thể đạt độ cứng 58 - 62 HRC, chống mài mòn tốt và phù hợp cho khuôn dập nguội. Quy trình gia công khuôn bao gồm tiện thô, gia công tinh, nhiệt luyện, mài chính xác và đánh bóng bề mặt làm việc. Bán kính lượn chày được chọn theo biên dạng bán thành phẩm; bán kính lượn cối được xác định theo kinh nghiệm dập vuốt sâu với giá trị khoảng 6 - 8 lần chiều dày phôi, từ đó chọn $R = 13,2$ mm [3], [4].



Hình 1. Bản vẽ bộ khuôn dập vuốt sản phẩm quánh 140 mm

Thiết bị thực nghiệm là máy ép thủy lực song động 300 tấn, có xy lanh trên 300 tấn, xy lanh dưới 100 tấn, hành trình trên 600 mm, hành trình dưới 300 mm và kích thước bàn máy 780 mm × 780 mm. Bộ khuôn được lắp lên máy, căn chỉnh đồng tâm giữa chày và cối, kiểm tra khe hở làm việc và chạy thử không tải trước khi dập. Để đánh giá ảnh hưởng của bán kính lượn cối, thực nghiệm được tiến hành với hai trường hợp: $R = 4$ mm, $R = 8$ mm và $R = 13,2$ mm; các yếu tố khác như vật liệu phôi, điều kiện bôi trơn, máy ép và trình tự vận hành được giữ không đổi. Bộ khuôn chế tạo được lắp đặt trên máy như ở hình 2.

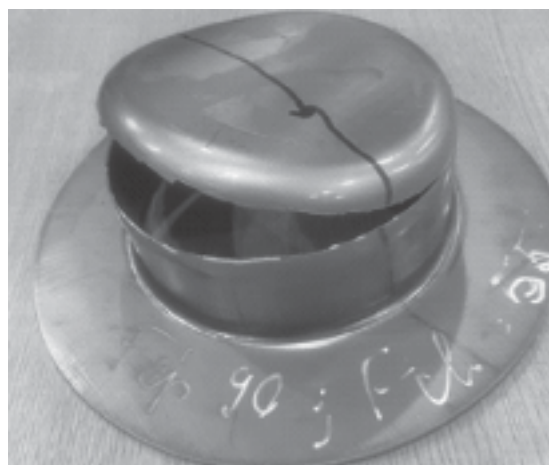


Hình 2. Máy ép thủy lực song động 300 tấn

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả tính toán cho thấy đường kính phôi 300 mm phù hợp với yêu cầu tạo hình sản phẩm quánh 140 mm và tạo đủ lượng dư cho nguyên công cắt vành sau dập. Kết cấu khuôn gồm chày đường kính theo kích thước trong của sản phẩm, cối có đường kính ngoài tương ứng với phôi, tấm chặn phôi có đường kính ngoài không nhỏ hơn đường kính phôi và đường kính lỗ trong lớn hơn đường kính chày một lượng phù hợp để bảo đảm khe hở làm việc. Độ dày cối và tấm chặn được chọn 35 mm, đáp ứng yêu cầu độ cứng vững và khả năng chịu lực trong quá trình dập.

Trong trường hợp bán kính lượn cối $R = 4\text{ mm}$ và $R = 8\text{ mm}$, khi chày đi xuống, quá trình tạo hình xuất hiện lực cản lớn tại vùng mép cối. Vật liệu bị kéo căng mạnh ở khu vực chuyển tiếp giữa đáy và thành sản phẩm. Sau khi dập, chi tiết xuất hiện rách ở vùng thành, đặc biệt tại vị trí chuyển tiếp. Hiện tượng này có thể giải thích do bán kính lượn nhỏ làm đường đi của vật liệu bị gấp khúc, tăng ma sát tiếp xúc và tạo tập trung ứng suất kéo. Khi ứng suất cục bộ vượt quá giới hạn bền của vật liệu, vết rách phát sinh và lan theo vùng biến dạng lớn (Hình 3).



Hình 3. Sản phẩm bị rách khi dập

Ở trường hợp $R = 13,2\text{ mm}$, quá trình dập vuốt diễn ra ổn định hơn. Vật liệu được kéo vào lòng cối liên tục, không xuất hiện lực cản đột ngột. Sản phẩm sau dập không có vết rách, thành sản phẩm tương đối đồng đều và hình dạng đạt yêu cầu thiết kế. Bán kính lượn lớn hơn giúp giảm biến dạng cục bộ, phân bố lại ứng suất theo vùng rộng hơn, đồng thời giảm ma sát tại mép cối. Kết quả này phù hợp với cơ sở lý thuyết dập vuốt sâu: khi tăng hợp lý bán kính lượn cối, khả năng chảy dẻo của phôi được cải thiện và nguy cơ rách giảm đáng kể [5] (Hình 4).



Hình 4. Sản phẩm dập với $R = 13,2\text{ mm}$

Tuy nhiên, bán kính lượn cối không thể tăng tùy ý. Nếu R quá lớn, khả năng kiểm soát phôi ở vùng vành có thể giảm, dẫn đến nhẵn hoặc sai lệch hình dạng. Do đó, lựa chọn R cần đồng thời xét đến chiều dày vật liệu, hệ số dập vuốt, lực chặn phôi, độ nhót và khả năng bám dính của dầu bôi trơn, cũng như độ bóng bề mặt khuôn. Trong phạm vi nghiên cứu này, $R = 13,2\text{ mm}$, tương đương khoảng 6 lần chiều dày phôi, cho kết quả tốt hơn rõ rệt so với $R = 4\text{ mm}$, $R = 8\text{ mm}$ và được xem là giá trị hợp lý cho bộ khuôn đã chế tạo.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng được quy trình thiết kế, chế tạo và thực nghiệm khuôn dập vuốt sâu cho sản phẩm quánh 140 mm từ vật liệu tấm SUS304/AI1050/SUS430. Các thông số chính được xác định gồm đường kính phôi 300 mm, khe hở chày - cối một phía 2,25 mm, lực chặn phôi tính toán khoảng 157540,08 N, chiều dày cối và tấm chặn 35 mm, vật liệu khuôn SKD11 sau nhiệt luyện đạt độ cứng cao. Bộ khuôn sau chế tạo làm việc ổn định trên máy ép thủy lực song động 300 tấn.

Thực nghiệm với hai giá trị bán kính lượn cối cho thấy $R = 4$ mm không phù hợp vì gây tập trung ứng suất, tăng ma sát và làm rách sản phẩm tại vùng chuyển tiếp đáy - thành. Khi tăng R lên 13,2 mm, vật liệu chảy ổn định hơn, sản phẩm không rách, thành tương đối đồng đều và đạt hình dạng yêu cầu. Kết quả khẳng định bán kính lượn cối là thông số công nghệ quan trọng trong thiết kế khuôn dập vuốt sâu. Các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng

khảo sát ảnh hưởng của lực chặn phôi, điều kiện bôi trơn, tốc độ ép và mô phỏng số bằng AutoForm, Dynaform hoặc PAM-Stamp nhằm tối ưu hóa đồng thời chất lượng sản phẩm và tuổi thọ khuôn. ♦

Ngày nhận bài: **15/5/2026**

Ngày phản biện: **29/5/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Zhang, C. (2021), “*A History of Mechanical Engineering*”. Springer.
- [2]. “*A concise overview of deep drawing in the metal forming operation*” (2022), Materials Today: Proceedings.
- [3]. Spišák, E. (2020), “*Springback Prediction in Stainless Steel Deep Drawing Process using FEM*”.
- [4]. Han, S. S. (2021), “*Optimizing multi-stage deep drawing with AI*”. Journal of Manufacturing Processes.
- [5]. Novotny, S. (2019), “*Hydroforming of aluminum alloys for automotive body parts*”. CIRP Annals.