

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ PHỎNG SỐ TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ KHUÔN ÉP CHẢY SẢN PHẨM HỢP KIM NHÔM (U)

RESEARCH ON NUMERICAL SIMULATION APPLICATIONS OPTIMIZED ALUMINUM ALLOY PRODUCTS (U) EXTRUSION DIE DESIGN

Nguyễn Trọng Mai^{1,*},
Trần Đức Quý¹, Phạm Văn Nghệ²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.014>

TÓM TẮT

Khuôn có vai trò quan trọng quyết định trực tiếp đến độ chính xác và chất lượng của sản phẩm trong quá trình ép chảy hợp kim nhôm [1, 4]. Để đảm bảo độ chính xác về hình dáng hình học của sản phẩm phải đảm bảo vận tốc sản phẩm thoát ra tại các điểm bất kỳ trên cửa khuôn là đồng đều. Do đó thiết kế khuôn phải đảm bảo cân bằng dòng chảy kim loại thoát ra tại cửa khuôn [3, 4, 6]. Mô phỏng số quá trình ép chảy hợp kim nhôm trên phần mềm Qform Extrusion giúp dự báo chính xác hình dạng sản phẩm ép chảy đối với mỗi phương án thiết kế khuôn [2, 5, 10]. Qua đó giúp các nhà thiết kế khuôn hiệu chỉnh các thông số thiết kế để tối ưu hóa thiết kế khuôn. Bài báo trình bày phương pháp ứng dụng mô phỏng số để tối ưu hóa thiết kế khuôn ép chảy sản phẩm hợp kim nhôm (U), vật liệu hợp kim nhôm AA6063.

Từ khóa: Hợp kim nhôm 6063, khuôn ép chảy, mô phỏng số, sản phẩm hợp kim nhôm U, tối ưu hóa thiết kế khuôn.

ABSTRACT

The dies an important role that directly determines the accuracy and quality of the product in the aluminum alloy extrusion process [1,4]. To ensure the correct geometry of the product, the exit velocity of the product at any point on the die bearing must be equal. Therefore, the die design must ensure the balance of metal flow out at the die bearing [3,4,6]. Aluminum alloy electric motor case made by extrusion method is a new method that brings economic efficiency and product quality. Numerical simulation of aluminum alloy extrusion with Qform Extrusion software helps to accurately predict extruded product shape for each die design option [2,5]. Thereby helping die designers calibrate design parameters to optimize die design. This paper presents a method of applying numerical simulation to optimize the design of extrusion die of U-shaped aluminum alloy products, aluminum alloy material AA6063.

Keywords: 6063 aluminum alloy, extrusion die, numerical simulation, aluminum alloy products (U), optimized die design.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: nguyentrongmai@hauivn.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/5/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/9/2023

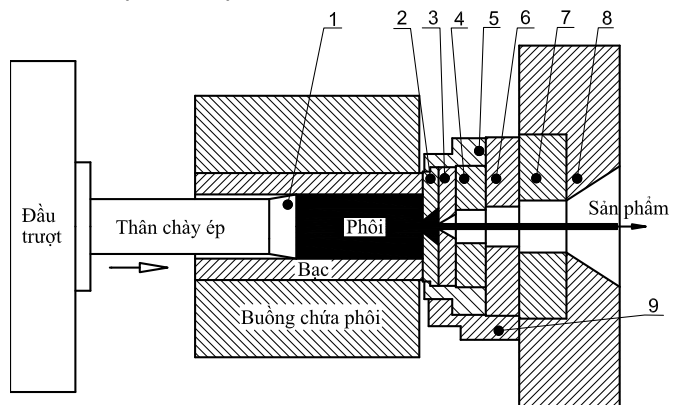
Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
B	mm	Độ rộng vùng dẫn nhôm
b	mm	Độ rộng cửa khuôn
H	mm	Độ sâu vùng dẫn nhôm
L	mm	Độ dài của cửa khuôn
e	mm	Khoảng cách từ cửa khuôn đến tâm khuôn

1. GIỚI THIỆU

Quá trình ép chảy là quá trình dùng lực (chày ép) để ép chảy phôi qua khe hở biên dạng trên khuôn (cửa khuôn) tạo thành sản phẩm hợp kim nhôm định hình (hình 1) [1, 4].



Hình 1. Cấu tạo hệ thống ép chảy thanh hợp kim nhôm [4]

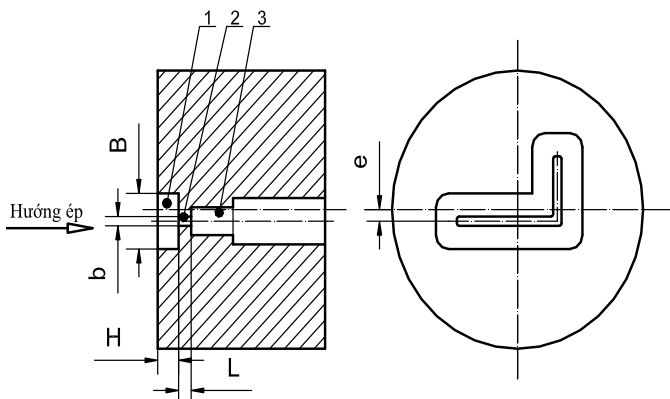
1. Đầu chày; 2, 3. Hai nửa khuôn; 4, 6, 7. Đệm khuôn; 5, 9. Áo khuôn; 8. Bàn máy

Khuôn ép chảy thanh hợp kim nhôm có cấu tạo gồm các phần chính như trên hình 2.

Trong quá trình ép chảy thuận trên loại khuôn ép thanh hợp kim nhôm, vận tốc dòng chảy kim loại ra khỏi cửa khuôn phụ thuộc vào các yếu tố:

- Vùng dẫn nhôm: độ rộng vùng dẫn nhôm B; độ sâu vùng dẫn nhôm H.

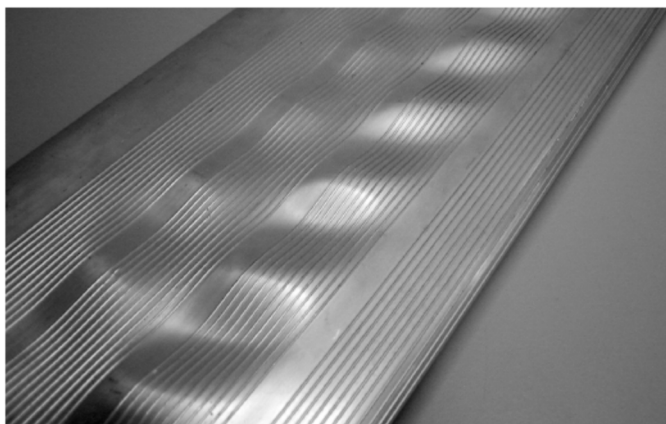
- Cửa khuôn: độ dài của cửa khuôn L; độ rộng của cửa khuôn b;
- Vị trí cửa khuôn trên khuôn: Khoảng cách từ vị trí mở cửa khuôn đến tâm khuôn e.



Hình 2. Cấu tạo khuôn ép thanh hợp kim nhôm

1. Vùng dẫn nhôm;
2. Cửa khuôn;
3. Vùng thoát sản phẩm

Khi thiết kế khuôn nếu thiết kế cố định các thông số hình học vùng dẫn nhôm (B, H), chiều dài cửa khuôn (L) không đổi thì tốc độ dòng chảy kim loại ra khỏi cửa khuôn tại các vị trí khác nhau trên khuôn sẽ không bằng nhau. Vì vậy nó ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm về hình dáng hình học như sản phẩm bị cong, méo hoặc lượn sóng (hình 3), thậm chí không thể thực hiện quá trình ép chảy ra được sản phẩm.

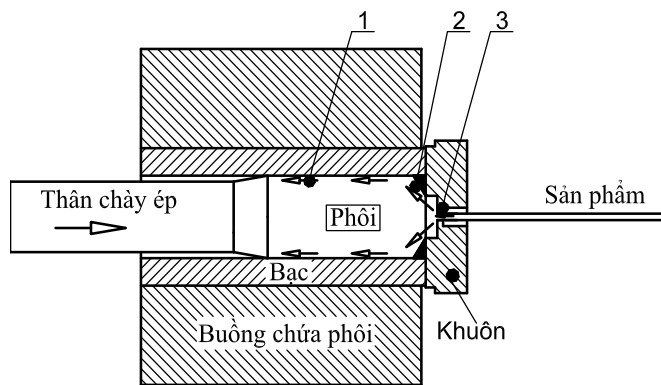


Hình 3. Sản phẩm bị gợn sóng do tốc độ ra không đồng đều [6]

Nguyên nhân của hiện tượng này là do tốc độ dòng chảy kim loại tại khu vực tâm khuôn có tốc độ cao hơn khu vực cách xa tâm khuôn vì khu vực cách xa tâm khuôn có lực ma sát giữa phôi với: thành ống chứa phôi (buồng ép), khu vực vùng kim loại chết (vùng kim loại không di chuyển) và bề mặt cửa khuôn như hình 4.

Một nguyên nhân khác nữa là khi độ dày sản phẩm b thay đổi thì vị trí có độ dày sản phẩm lớn sẽ có tốc độ dịch chuyển của dòng kim loại nhanh hơn và ngược lại [3, 6].

Bên cạnh đó khuôn có thể bị biến dạng đàn hồi dưới tác dụng của lực ép cũng có thể gây ra hiện tượng biến dạng của khuôn tại các vị trí khác nhau góp phần làm cho tốc độ ra không đồng đều tại các điểm khác nhau trên cửa khuôn.



Hình 4. Ma sát trong quá trình ép trực tiếp [4]

1. Ma sát phôi - ống chứa phôi;
2. Ma sát phôi - vùng kim loại chết;
3. Ma sát phôi - cửa khuôn

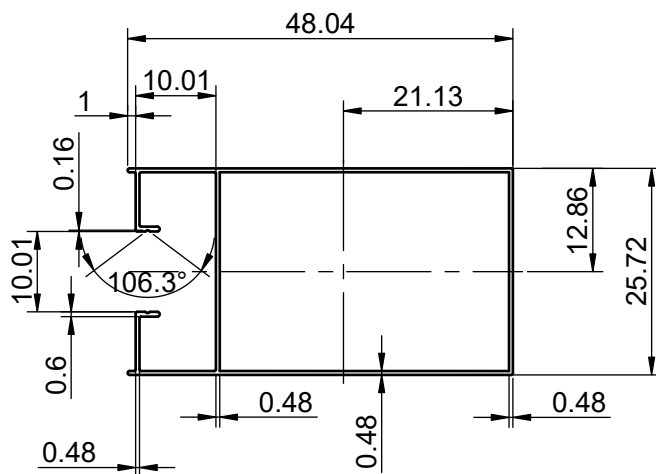
Thiết kế khuôn phải đảm bảo tốc độ ra của sản phẩm tại các điểm khác nhau trên cửa khuôn phải đồng đều. Để giải quyết vấn đề này thường có ba phương pháp: thay đổi độ dài cửa khuôn; thay đổi độ rộng vùng dẫn nhôm; thay đổi kết hợp độ dài và độ rộng vùng dẫn nhôm [3].

Hiện nay mô phỏng số quá trình ép chảy hợp kim nhôm đã đạt được bước tiến lớn khi đạt được sự tương đồng giữa kết quả mô phỏng số với quá trình ép chảy thực tế lên đến 95% [7-9]. Do vậy có thể ứng dụng mô phỏng số quá trình ép chảy hợp kim nhôm để dự đoán chất lượng sản phẩm ứng với mỗi phương án thiết kế khuôn. Trên cơ sở đó đưa ra phương án cải tiến thiết kế nhằm tối ưu hóa thiết kế khuôn để đảm bảo chất lượng sản phẩm, đồng thời giảm thiểu chi phí thử và chỉnh sửa khuôn.

Bài báo tập trung ứng dụng mô phỏng số vào quá trình tối ưu hóa thiết kế khuôn ép chảy thanh hợp kim nhôm chữ U.

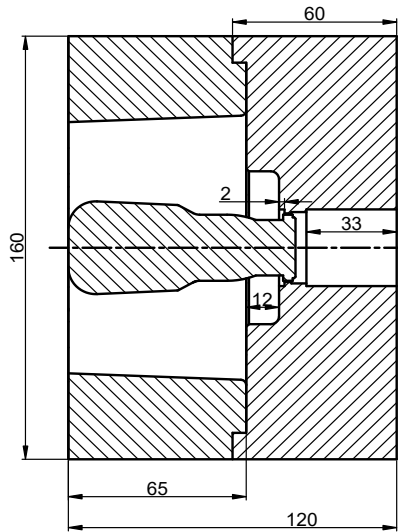
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Tiến hành mô phỏng số để cân bằng dòng chảy trong khuôn ép chảy thanh hợp kim nhôm chữ U như hình 5. Do sản phẩm có sự thay đổi độ dày tiết diện nên cần cân bằng dòng chảy theo phương pháp thay đổi kết hợp cả chiều dài cửa khuôn và độ rộng vùng dẫn trên phần mềm mô phỏng Qform Extrusion.

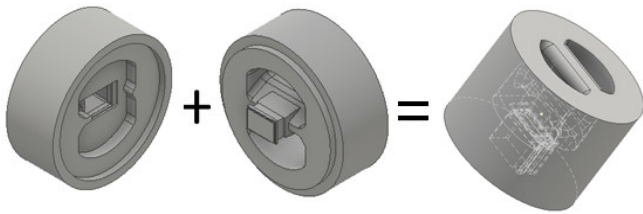


Hình 5. Tiết diện thanh hợp kim nhôm chữ U

Tính toán thiết kế khuôn theo kinh nghiệm được bộ khuôn có kết cấu như hình 6, 7, 8.



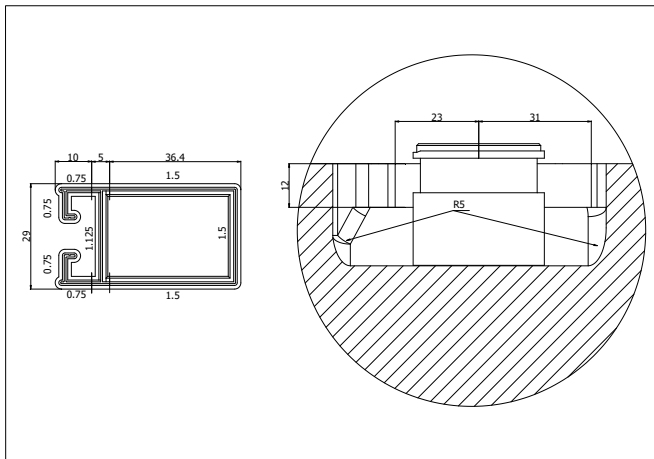
Hình 6. Bản vẽ thiết kế khuôn theo kinh nghiệm



a) Hình vẽ 2 nửa lòng khuôn

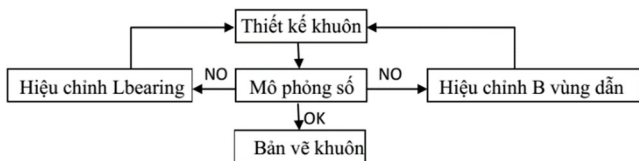
b) Hình vẽ 3D lắp ghép

Hình 7. Hình vẽ 3D thiết kế khuôn theo kinh nghiệm



Hình 8. Thiết kế chiều dài của khuôn và vùng dẫn nhôm của khuôn thiết kế lần 1

Tiến hành sử dụng phương pháp mô phỏng số trên phần mềm Qform đánh giá sản phẩm ép, làm cơ sở hiệu chỉnh thiết kế khuôn. Quá trình này được thể hiện trên hình 9.



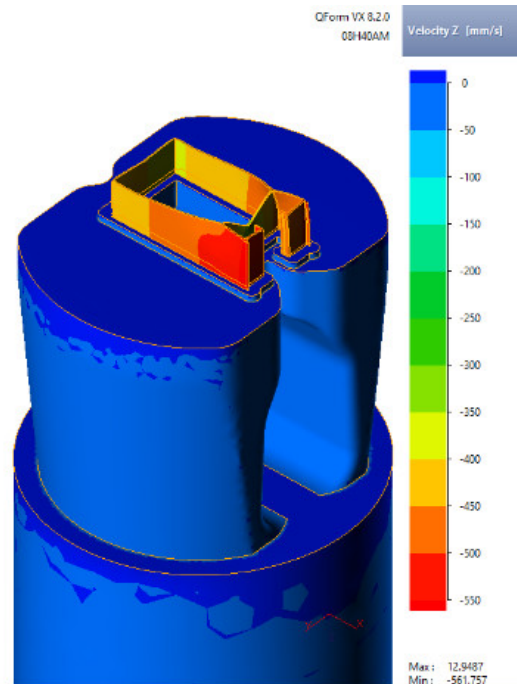
Hình 9. Sơ đồ thiết kế khuôn

Toàn bộ các thông số của quá trình mô phỏng ép sản phẩm theo bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu mô phỏng

STT	Các thông số mô phỏng	
1	Vật liệu phôi	A6063
2	Kích thước phôi: Chiều dài L = 650; đường kính $\varnothing = 180$	
3	Vật liệu khuôn	SKD61
4	Nhiệt độ buồng chứa phôi, (°C)	420
5	Phôi, (°C)	450
6	Nhiệt độ khuôn, (°C)	490
7	Tốc độ của chày ép, (mm/sec)	5mm/s

Kết quả mô phỏng số trên phần mềm Qform dự đoán hình dạng sản phẩm ép chảy (hình 10) cho thấy dòng chảy sản phẩm ra chưa đồng đều, 2 cánh của sản phẩm có xu hướng ra nhanh hơn. Phần nối 2 cánh của sản phẩm có xu hướng ra chậm hơn. Do đó sản phẩm có xu hướng dễ bị xoắn khi ép chảy thực tế.

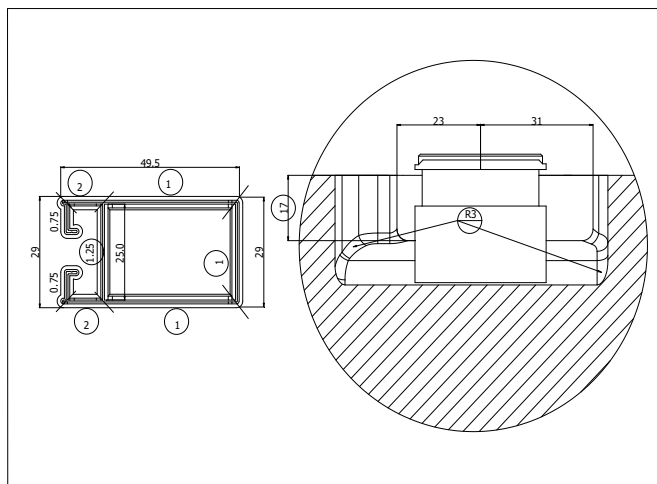


Hình 10. Mô phỏng số quá trình ép sản phẩm trên phần mềm Qform với thiết kế khuôn lần 1

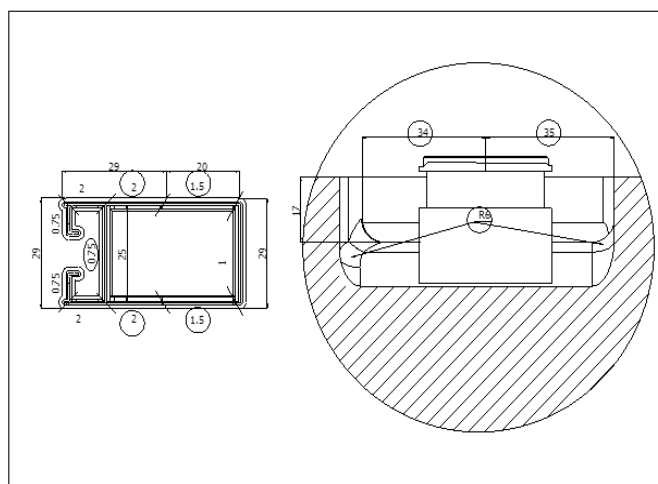
Vì vậy khuôn cần được hiệu chỉnh thiết kế, lập lại mô phỏng và tối ưu hóa các tham số thiết kế. Dòng kim loại ép ra tại vị trí có xu hướng ra nhanh hơn cần tiến hành tăng chiều dài của khuôn tại các vị trí này để tăng ma sát giữa dòng chảy vật liệu và cửa khuôn giúp dòng kim loại ép ra chậm hơn và ngược lại (kích thước khoanh tròn) như bảng 2, sau đó mô phỏng lập lại ta được kết quả dòng chảy kim loại như trên hình 11.

Bảng 2. Thay đổi chiều dài của khuôn lần 2

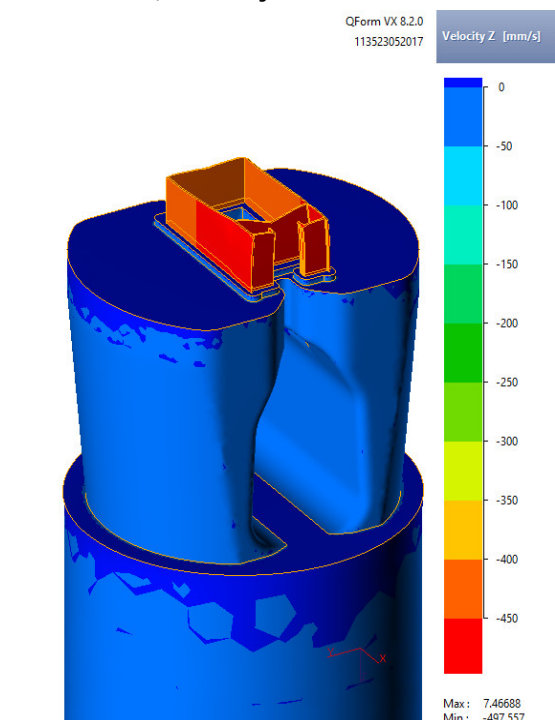
Chiều dài L của khuôn cũ	1,5mm	1,25mm	0,75mm	0,75mm
Chiều dài L của khuôn lần 2	1mm	1,25mm	2mm	0,75mm



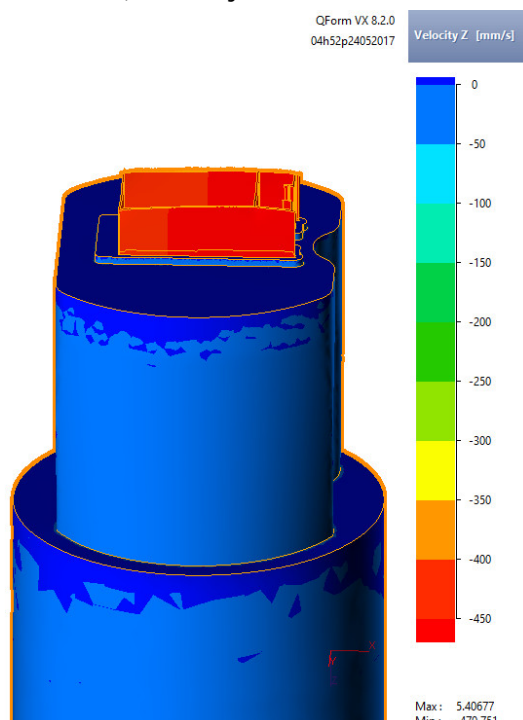
a) Hiệu chỉnh vùng dẫn nhôm cửa khuôn



a) Hiệu chỉnh vùng dẫn nhôm cửa khuôn



b) Kết quả mô phỏng



b) Kết quả mô phỏng

Hình 11. Kết quả mô phỏng dòng chảy hợp kim nhôm khi thay đổi kết cấu khuôn lần 2

Nhìn vào kết quả mô phỏng hình 11b cho thấy dòng chảy ở vị trí 2 cánh của sản phẩm đã chảy cân bằng hơn nhưng dòng chảy ở vị trí thành nổi 2 cánh vẫn chảy chậm hơn các vị trí khác. Do vậy cần giảm độ dài cửa khuôn tại vị trí thành nổi 2 cánh (từ 1,25 xuống 0,75) và thay đổi độ rộng bán kính vùng dẫn nhôm (từ R5 lên R6), bề rộng vùng dẫn nhôm (từ 23 lên 34; 32 lên 35) cho lần hiệu chỉnh tiếp theo có kết cấu khuôn (hình 12a). Kết quả mô phỏng (12b).

Như vậy sau một số lần hiệu chỉnh chiều dài cửa khuôn kết hợp hiệu chỉnh kích thước vùng dẫn nhôm với sự hỗ trợ của phần mềm mô phỏng số Qform Extrusion đã đạt được sự cân bằng dòng chảy ra của sản phẩm. Đây là yếu tố quyết định đến độ chính xác về hình dáng hình học của sản phẩm.

Hình 12. Kết quả mô phỏng dòng chảy hợp kim nhôm khi thay đổi kết cấu khuôn lần lặp cuối

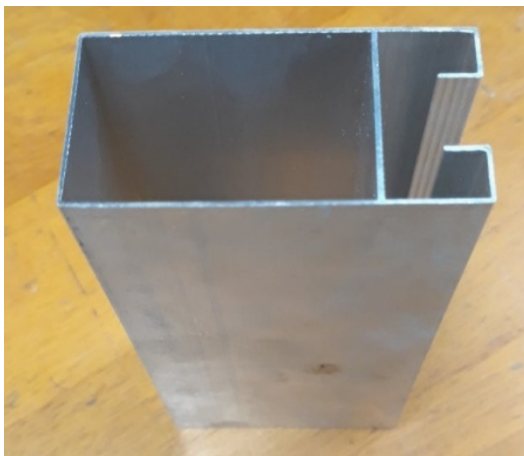
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành chế tạo bộ khuôn theo phương án thiết kế đã được tối ưu, đưa khuôn vào ép thử sản phẩm trên máy ép như trên hình 13 tại nhà máy nhôm EUROHA.

Qua quá trình kiểm tra các kích thước và các yêu cầu kỹ thuật khác tại phòng kỹ thuật nhà máy nhôm EUROHA đã xác nhận sản phẩm đạt các tiêu chuẩn kỹ thuật của nhà máy ngay từ lần ép thử đầu tiên. Như vậy, ứng dụng phương pháp mô phỏng số để cân bằng dòng chảy trong quá trình thiết kế khuôn ép chảy hợp kim nhôm (U) đã góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế trong sản xuất, giảm thời gian sửa nguội khuôn và rút ngắn quá trình tối ưu kết cấu khuôn.



a) Sản phẩm ép ra khỏi máy



b) Sản phẩm hợp kim nhôm (U)

Hình 13. Quá trình thử khuôn tại nhà máy nhôm EUROHA

4. KẾT LUẬN

Bằng việc ứng dụng mô phỏng số trên phần mềm Qform theo phương pháp cân bằng dòng chảy kết hợp giữa hiệu chỉnh chiều dài của khuôn và độ rộng vùng dẫn nhôm của khuôn đã tìm ra kết cấu khuôn hợp lý đảm bảo cân bằng dòng chảy sản phẩm hợp kim nhôm 6063 (dạng U).

Quá trình thử khuôn tại nhà máy cho thấy kết quả ép chảy sản phẩm thực tế tương đồng với kết quả mô phỏng, đảm bảo độ tin cậy trong sử dụng kết quả mô phỏng để tối ưu thiết kế khuôn ép chảy hợp kim nhôm.

Ứng dụng mô phỏng số vào quá trình tối ưu hóa thiết kế khuôn giúp nhà thiết kế khuôn, chế tạo khuôn và sửa khuôn rút ngắn được quá trình thử nghiệm và chỉnh sửa khuôn, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế cho các nhà máy thiết kế, chế tạo khuôn ép chảy hợp kim nhôm.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, hãng phần mềm Qform, nhà máy nhôm EUROHA trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Văn Nghe, Nguyễn Đức Trung, Lê Trung Kiên, *Công nghệ gia công áp lực*. Bách Khoa Publishing House, Hanoi, 2016.
- [2]. Nguyễn Đức Trung, Lê Thái Hưng, Nguyễn Như Huỳnh, Nguyễn Trung Kiên, *Mô phỏng số qua trình biến dạng*. Bách Khoa Publishing House, Hanoi, 2011.
- [3]. Nguyễn Trọng Mai, Trần Đức Quý, Phạm Văn Nghe, "Balancing metal flow in extrusion die for aluminium - alloy bar," *Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry*, 38A, 2017.
- [4]. Pradip K. Saha, *Aluminum Extrusion Technology*. ASM International, 2000.
- [5]. ISAAC FLITTA, *Simulation of Aluminium Extrusion Process*. Bournemouth University, 2004.
- [6]. Bauser, *Extrusion Second edition*. ASM International, 2006.
- [7]. Lee G.A., Y.T. Im, "Analysis and Die Design of Flat Die Hot Extrusion Process 2. Numerical Design of Bearing Lengths," *International Journal of Mechanical Sciences*, 44, 935-946, 2002.
- [8]. Miles N., G. Evans, A. Middleditch, "Bearing Lengths for Extrusion Dies; Rationale, Current Practice and Requirements for Automation," *Journal of Material Processing Technology*, 72, 162-176, 1997.
- [9]. Miles N., G. Evans, A. Middleditch, "Automatic Bearing Length Assignment Using the Medial Axis Transform," in *Proceedings: Sixth International Aluminum Extrusion Technology Seminar*, 1996.
- [10]. Qform Extrusion, 2022.

AUTHORS INFORMATION

Nguyễn Trọng Mai¹, Trần Đức Quý¹, Phạm Văn Nghe²

¹Hanoi University of Industry, Vietnam

²Hanoi University of Science and Technology, Vietnam