



ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP MIẾT TẠO HÌNH
ĐẶC BIỆT PHÔI TRỤ Rỗng TỪ HỢP KIM ĐỒNG CUCR08

APPLICATION OF SPECIAL SPIN FORMING METHOD FOR HOLLOW
CYLINDRICAL WORKPIECES FROM CUCR08 COPPER ALLOY

Vũ Trọng Bách*, Đào Ngọc Điệp
Trường Đại học Cửu Long

DOI: <https://doi.org/10.65934/mkusj.2026.43.1112>

*Email: vutrongbach@mku.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/11/2026

Ngày phản biện: 02/03/2026

Ngày duyệt bài: 01/06/2026

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng phương pháp miết tạo hình đặc biệt để chế tạo phôi trụ rỗng từ hợp kim đồng CuCr08 bằng công nghệ kết hợp dát đẳng nhiệt, miết và xử lý nhiệt trung gian. Vật liệu CuCr08 được lựa chọn do có tính dẫn điện, dẫn nhiệt tốt, đồng thời bảo đảm độ bền và tính ổn định tổ chức sau biến dạng. Nghiên cứu tập trung khảo sát tổ chức tế vi, cơ tính của vật liệu ban đầu, xây dựng mô hình vật liệu theo quan hệ Hensel-Spittel trên cơ sở dữ liệu thực nghiệm và ứng dụng mô hình này trong mô phỏng số bằng phần mềm QForm VX. Kết quả cho thấy mô hình vật liệu có độ tin cậy tốt, sai lệch trung bình giữa giá trị thực nghiệm và tính toán không vượt quá 9%. Trên cơ sở mô phỏng và thực nghiệm, quy trình công nghệ gồm hai lần dát đẳng nhiệt, hai giai đoạn miết và xử lý nhiệt trung gian đã được xác lập. Chiều dày thành phôi sau tạo hình phù hợp với giá trị tính toán, sai lệch nhỏ và nằm trong giới hạn cho phép. Kết quả nghiên cứu khẳng định tính khả thi của quy trình công nghệ đề xuất trong chế tạo phôi trụ rỗng CuCr08 có độ chính xác cao và độ ổn định tốt.

Từ khóa: hợp kim đồng CuCr08, dát đẳng nhiệt, miết, mối quan hệ Hensel-Spittel, mô hình máy tính, mô hình vật lý.

ABSTRACT

This paper presents the research results on the application of a special metal spinning method for manufacturing hollow cylindrical blanks from CuCr08 copper alloy using a combined technology of isothermal rolling, spinning, and intermediate heat treatment. CuCr08 alloy was selected due to its good electrical and thermal conductivity, while also ensuring strength and microstructural stability after deformation. The study focused on investigating the initial microstructure and mechanical properties of the material, developing a material model based on the Hensel-Spittel relationship using experimental data, and applying this model to numerical simulation in QForm VX software. The results showed that the material model had good reliability, with the average deviation between experimental and calculated values not exceeding 9%. Based on the simulation and experimental results, a technological process including two stages of isothermal rolling, two spinning stages, and intermediate heat treatment was established. The wall thickness of the formed blank was consistent with the calculated values, with only small deviations within the acceptable range. The research results confirm the feasibility of the proposed technological process for manufacturing CuCr08 hollow cylindrical blanks with high dimensional accuracy and good stability.

Keywords: alloys CuCr08, isothermal rolling, spinning, Hensel-Spittel relationship, computer modeling, physical modeling

ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong sản xuất công nghiệp nói chung, ngành chế tạo máy nói riêng, các sản phẩm có hình dạng

đối xứng trục, rỗng luôn chiếm tỷ lệ rất lớn. Chúng được sản xuất bằng nhiều phương pháp khác nhau, đơn giản như sử dụng phương pháp uốn, sau đó

hàn nối. Trong trường hợp cần chế tạo các chi tiết không có mối nối, có thể sử dụng công nghệ kết hợp dát đẳng nhiệt và miết trên các máy chuyên dụng.

Một trong các ưu điểm quan trọng nhất của phương pháp miết so với các phương pháp gia công truyền thống khác là nó đảm bảo đáp ứng các yêu cầu cao về độ chính xác của kích thước, độ dày thành có thể thay đổi và tiết diện ngang của chi tiết nhận được [1, 2]. Đồng thời, quá trình này giúp tiết kiệm đáng kể vật liệu do sử dụng phôi có hình dạng và phương pháp chế tạo đơn giản hơn so với các phương pháp khác, cũng như thu được chi tiết có cơ tính cao hơn do ảnh hưởng của quá trình hóa bền biến dạng nguội [3, 4].

Trong những năm gần đây, chế tạo chi tiết bằng phương pháp miết đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều hơn, tuy nhiên vẫn chưa được áp dụng rộng rãi. Một số nhà nghiên cứu đã đề cập đến I.P. Renne, E.A. Popov, L.G. Yudin, S.P. Yakovlev, I.A. Burlakov [5], V.T. Bach, nhưng các kết quả nghiên cứu này chưa được ứng dụng rộng rãi trong thực tế. Điều này có thể là do sử dụng phương pháp miết chỉ phù hợp để sản xuất các chi tiết tròn quay.

Mặc dù hạn chế do chỉ chế tạo các chi tiết tròn quay cũng như năng suất thấp, tuy nhiên sử dụng phương pháp miết có thể chế tạo được chi tiết tròn quay có hình dạng vô cùng đa dạng. Cụ thể như các chi tiết dạng ống, xi lanh có độ dày thành giống nhau hoặc thay đổi, chi tiết có hoặc không có mặt bích, và nhiều loại khác [6, 7]. Trong một số trường hợp, miết là phương pháp duy nhất có thể sản xuất các bộ phận có hình dạng phức tạp. Một ưu điểm khác của phương pháp miết là chi phí thiết bị và dụng cụ tương đối thấp. Trong một số trường hợp, có thể sử dụng máy tiện thông thường với thiết bị chuyên dụng để gia công các bộ phận [8].

Phạm vi ứng dụng rộng rãi của phương pháp miết từ lâu đã được đánh giá cao ở Hoa Kỳ, Nga, các nước Tây Âu và Nhật Bản, nơi lĩnh vực gia

công áp lực kim loại này đang phát triển mạnh mẽ.

Sự phát triển của công nghệ gia công kim loại bằng phương pháp miết là do nhu cầu của nhiều ngành công nghiệp và kỹ thuật cơ khí trong việc tạo ra các sản phẩm công nghệ mới có dạng rỗng tròn xoay có hình nón, hình trụ và hình cong với thành có độ dày không đổi và thay đổi, được làm bằng kim loại và hợp kim chống ăn mòn, có độ bền cao và chịu lửa.

Lựa chọn hợp kim CuCr08 là do vật liệu này thuộc nhóm hợp kim đồng có hàm lượng đồng cao, cho phép duy trì các đặc tính dẫn điện và dẫn nhiệt tốt, đồng thời nhờ nguyên tố Cr với hàm lượng nhỏ đã cải thiện đáng kể độ bền và khả năng ổn định tổ chức sau biến dạng và nhiệt luyện. Vì vậy, CuCr08 là đối tượng thích hợp để nghiên cứu chế tạo phôi trụ rỗng có độ chính xác cao bằng công nghệ miết tạo hình đặc biệt.

Mục đích của nghiên cứu là phát triển công nghệ sản xuất phôi rỗng có độ chính xác cao từ hợp kim đồng CuCr08.

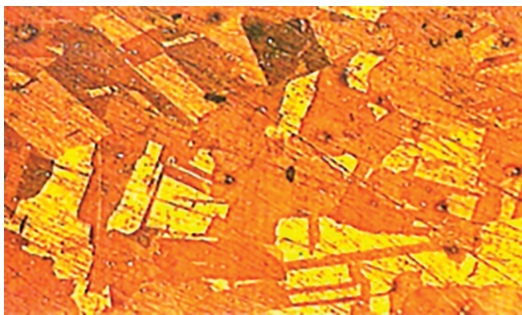
Nội dung nghiên cứu bao gồm

- Nghiên cứu cơ tính và tổ chức của vật liệu ban đầu;
- Xác định tính chất của hợp kim bằng cách sử dụng mối quan hệ Hensel-Spittel;
- Xây dựng sơ đồ quy trình chế tạo chi tiết;
- Mô hình hóa quá trình chế tạo chi tiết khi sử dụng mô hình vật liệu đã tìm được;
- Phân tích dữ liệu thu được và đánh giá khả năng sản xuất chi tiết.

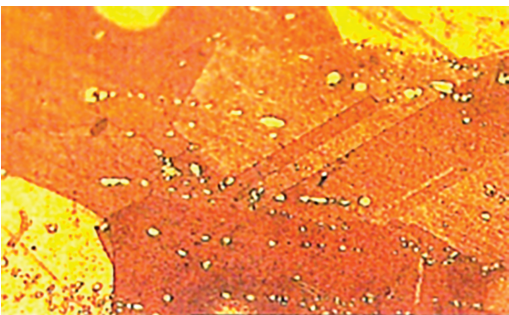
1. Vật liệu, thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu

Vật liệu nghiên cứu là hợp kim đồng CuCr08, có kích thước 450×60 mm, với thành phần hóa học theo khối lượng gồm Cu 99,54% và Cr 0,46%. Tổ chức tế vi của vật liệu gồm các hạt đa diện tương đối đồng đều, không quan sát thấy tạp chất phi kim loại trong mẫu nghiên cứu (Hình 1).



Độ phóng đại x100



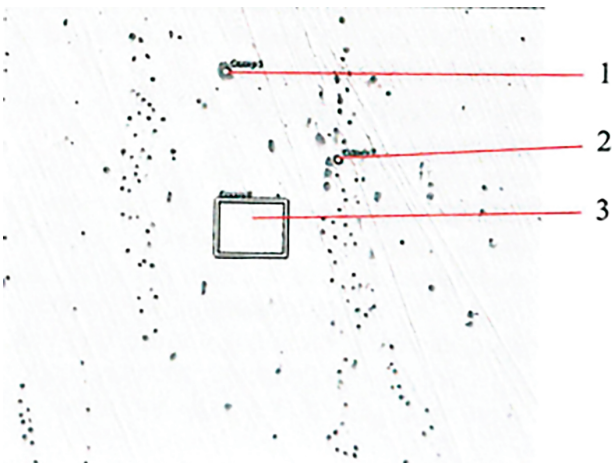
Độ phóng đại x500

Hình 1. Tổ chức tế vi của mẫu nghiên cứu theo mặt cắt dọc

Kết quả phân tích tổ chức của vật liệu bằng phương pháp quang phổ (Bảng 1, Hình 2) cho phép xác định sự phân tách các thành phần pha dưới dạng các vạch dựa trên Silic và Crôm, theo kết quả thu được, vấn đề này không ảnh hưởng đến khả năng tạo hình của vật liệu.

Bảng 1. Kết quả phân tích tổ chức của vật liệu

Mẫu	Thành phần hóa học (%)			
	Si	Cr	Cu	Tổng
1	0.53	39.75	59.72	100
2	0.5	18.93	80.58	100
3	0	0.46	99.54	100



Hình 2. Dữ liệu phân tích tổ chức của vật liệu - 1, 2, 3 - các mẫu nghiên cứu

Thiết bị và phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu tổ chức tế vi

Các nghiên cứu về cấu trúc vi mô được thực hiện trên kính hiển vi Olympus Delta với độ phóng đại 100, 200 và 500 (hình 3-a) và xác định độ dày thành của phôi được kiểm soát bằng máy đo độ dày siêu âm 38DL-PLUS (hình 3-b).



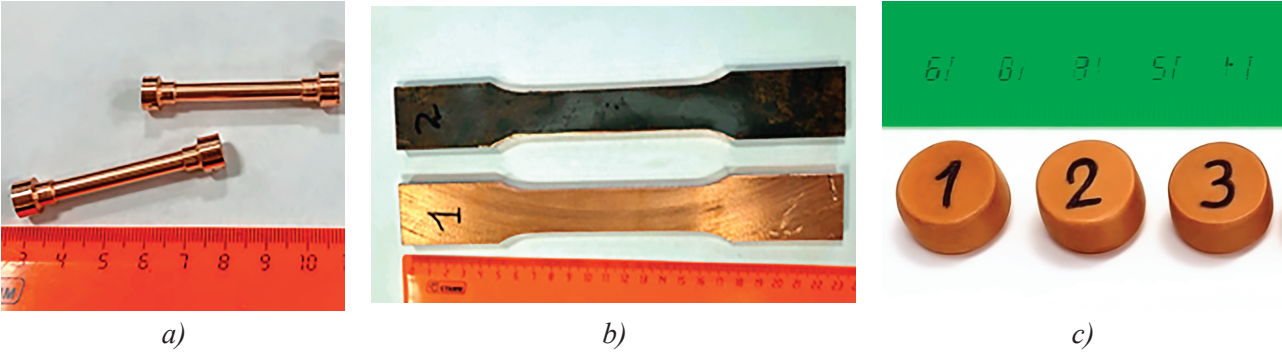
a)



b)

Hình 3. Thiết bị nghiên cứu [9]
- Xác định cơ tính của vật liệu

Cơ tính của vật liệu đầu vào được xác định bằng thí nghiệm kéo mẫu trụ (Hình 4-a), tính dẻo được xác định bằng cách kéo các mẫu dẹt (Hình 4-b) và được thực hiện trên máy LFM50 (Hình 5-a) với tốc độ 2 mm/phút . Thí nghiệm để xác định cơ tính của phôi 10x10 mm (Hình 4c) được thực hiện trên máy kéo nén LFM250 (Hình 5-b) với các tốc độ biến dạng 0.001; 0.01; 0.1 s⁻¹ ở nhiệt độ 20, 400, 600 và 800°C. Phạm vi nhiệt độ được lựa chọn dựa trên kết quả mô hình hóa các quá trình dát đẳng nhiệt và miết nguội. Tốc độ biến dạng được duy trì không đổi bằng cách điều khiển chuyển động của đầu máy.



Hình 4. Các mẫu thí nghiệm cơ tính



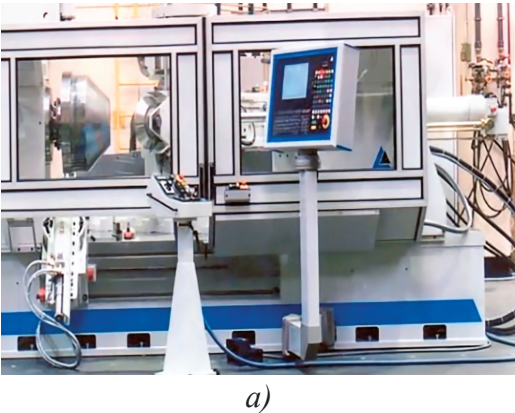
Hình 5. Các máy kéo, nén [9]

- Chế tạo bán thành phẩm, chi tiết

Các phôi ban đầu được dát đẳng nhiệt hai lần trên máy AJIPD-800 (Hình 6-a), sau đó thực hiện chế tạo chi tiết trên máy miết Leifeld PNC-111 (Hình 6-b) với quy trình công nghệ như sau:

1. Phôi ban đầu (CuCr08, đường kính 112 và độ dày 4.8 mm);

- 2. Dát đẳng nhiệt;
- 3. Miết tạo bán thành phẩm (tần số quay của trục chính là 600 vòng/phút, tốc độ tiến trục là 5 mm/phút);
- 4. Ủ trung gian (nung nóng đến nhiệt độ 625-640°C; giữ trong 60 phút; làm mát bằng không khí);
- 5. Miết lần thứ hai.



Hình 6. Máy để chế tạo chi tiết, bán thành phẩm [9]

- Phân tích, xử lý số liệu

Xử lý dữ liệu thực nghiệm, sau khi chèn đẳng nhiệt phôi Titan VT1-0, cho phép xây dựng mô hình vật liệu theo tài liệu Hensel-Spitel [9], nhận

được mối quan hệ phụ thuộc giữa ứng suất chảy σ_f và các tham số cơ, nhiệt:

$$\sigma_i = A.e^{m_1.T}.T^{m_9}.e^{m_2}.e^{m_4/\varepsilon}.$$
$$.(1 + \varepsilon)^{m_5.T}.e^{m_7.\varepsilon}.e^{m_3}.e^{m_8.T} \tag{1}$$

Trong đó, A, m₁, m₂, m₃, m₄, m₅, m₇, m₈, m₉ - các hệ số được tính bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất trong chương trình Matlab [10].

- Mô hình hóa

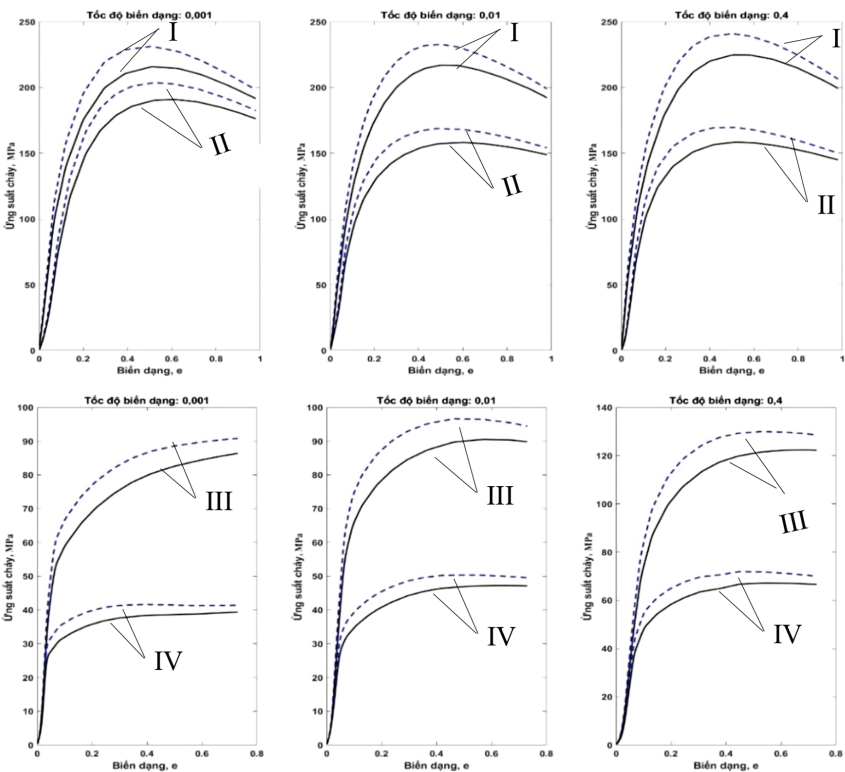
Áp dụng mô hình vật liệu được tìm thấy từ phương trình (1) vào phần mềm QForm VX để mô

phỏng các quá trình biến dạng tạo hình (dát, miết).

2. Kết quả nghiên cứu, phân tích

Kết quả phân tích, xử lý số liệu theo phương trình (1)

Như đã trình bày ở trên, sau khi áp dụng phần mềm Matlab tìm được mô hình vật liệu với các hệ số được trình bày trong hình 7 và bảng 2. So sánh đường cong thực nghiệm và tính toán cho thấy độ lệch trung bình không vượt quá 9%.



Hình 7. So sánh ứng suất chảy thực nghiệm và tính toán trong quá trình chôn các mẫu với các tốc độ biến dạng và nhiệt độ khác nhau (---- dữ liệu thí nghiệm; - dữ liệu tính toán)

Quá trình mô phỏng

Mô phỏng quá trình dát mỏng

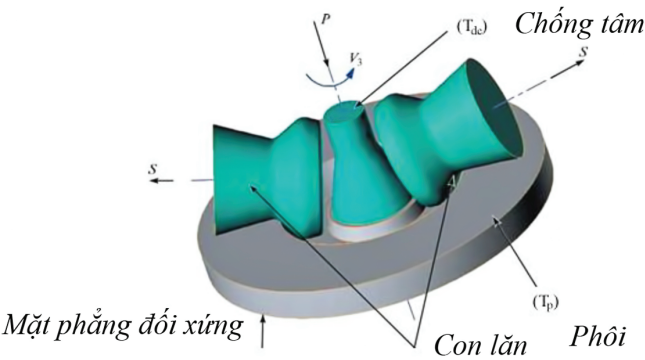
Thực hiện mô phỏng quá trình dát với sơ đồ được thể hiện trên hình 8 và có các thông số công nghệ như sau:

- Chiều dày phôi: 14, 16, 18 mm;
- Nhiệt độ phôi 800 °C;
- Nhiệt độ dụng cụ 800 °C;
- Tần số quay của phôi 1.5 vòng/phút;
- Hệ số ma sát: 0.8
- Tốc độ chuyển động của dụng cụ 2.4 mm/phút.

Bảng 2. Hệ số toán học của mô hình

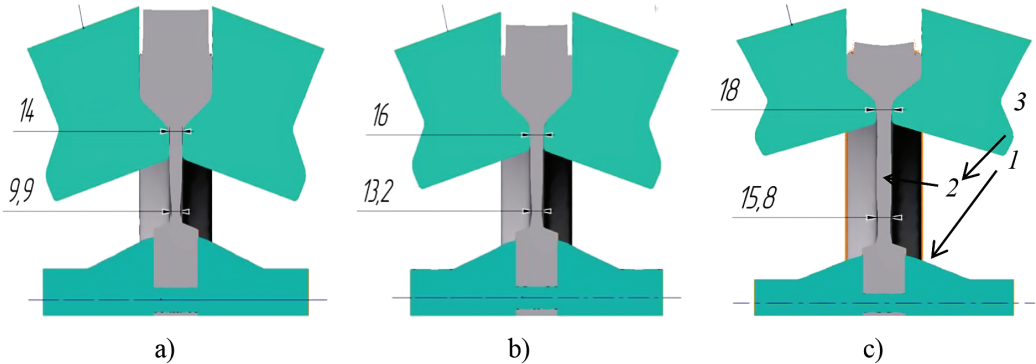
Nhiệt độ, °C	A	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄
20÷400	10,05	-0,012	-0,436	-0,009	-0,129
	m ₅	m ₇	m ₈	m ₉	
	0,0004	-0,924	0	1,393	

Nhiệt độ	A	m_1	m_2	m_3	m_4
600÷800	10,02	-0,004	0.087	-0,008	-0,045
	m_5	m_7	m_8	m_9	
	-0,001	0,303	0	0,761	



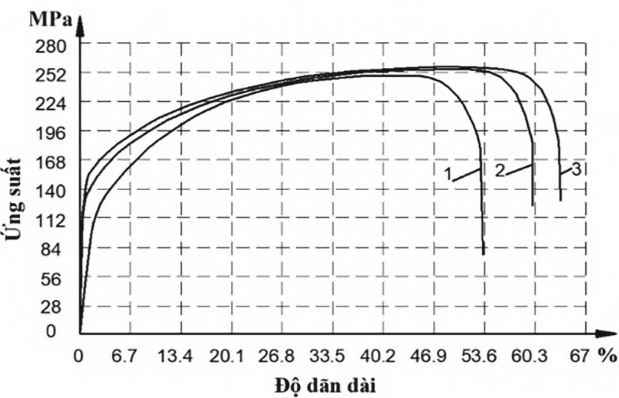
Hình 8. Sơ đồ đúc phôi phẳng: P - lực ép phôi của trục đất; V - tần số quay của trục; S - tốc độ chuyển động hướng kính của con lăn

Kết quả của mô phỏng quá trình đúc với mô hình vật liệu tìm được được trình bày trên hình 9.



Hình 9. Mô phỏng quá trình đúc đẳng nhiệt (1 - chồng tâm, 2 - phôi, 3 - con lăn)

Kết quả mô phỏng cho thấy chiều dày của vật liệu được đúc mỏng đi đáng kể, có thể dẫn đến phá hủy phôi; với độ dày của tấm ban đầu là 14 và 16 mm, độ mỏng có thể đạt tới 60% và độ dày tấm tối thiểu đảm bảo độ ổn định và độ mỏng không quá 12% là 18 mm. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng các điều kiện đúc đẳng nhiệt trên máy AJIPD-800 tương ứng với các điều kiện mà mô hình được thực hiện trong chương trình QForm VX. Sau lần đúc thứ hai, độ dày của phôi khoảng 10 mm. Có thể thấy trong Hình 10, đúc đẳng nhiệt cho phép tăng độ dẻo của vật liệu ban đầu lên 6-8% và xử lý nhiệt tiếp theo làm tăng các đặc tính dẻo không đáng kể từ 3-5%.



Hình 10. Biểu đồ kéo của mẫu hợp kim đồng CuCr08 (1 - vật liệu đầu vào; 2 - mẫu sau khi đúc đẳng nhiệt; 3 - mẫu sau khi đúc đẳng nhiệt và xử lý nhiệt)

Chế tạo chi tiết bằng phương pháp miết

Sử dụng phôi ban đầu được chế tạo bằng phương pháp cắt tia nước và quá trình miết được thực hiện trong hai giai đoạn với xử lý nhiệt trung gian. Giai đoạn đầu tiên của quá trình miết được thực hiện bằng cách sử dụng một ống côn có độ nghiêng của đường sinh so với trục quay là 21° , với giá trị biến dạng được tính toán là 56% (Hình

11b). Đối với quá trình này, chiều dày của phôi được tính theo công thức [1]:

$$t_1 = t_0 \sin \alpha_1 \quad (2)$$

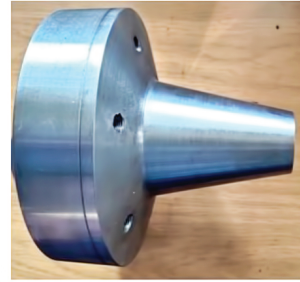
Trong đó t_0 là độ dày của phôi ban đầu; t_1 là độ dày của phôi sau khi miết; α_1 là góc nghiêng tạo thành so với trục quay của nó.



a)



b)



c)



d)

Hình 11. Cốt miết (a) và phôi (b) sau miết lần 1 và Cốt miết (c) và phôi (d) sau miết lần 2

Xác định độ dày thành của chi tiết sau khi gia công bằng máy siêu âm là 1.58-1.67 mm và theo tính toán là 1.72 mm (sai số là ± 0.05 mm). Sự thay đổi độ dày được giải thích là do độ cứng của trục không đủ và sự biến dạng của con lăn, giá trị này đã được tính đến trong khi lập trình quá trình miết.

Sau bước gia công đầu tiên, phôi được xử lý nhiệt (nung nóng đến nhiệt độ $625-640^\circ\text{C}$; giữ trong 60 phút; làm mát bằng không khí). Bước gia công thứ 2 được thực hiện trên cốt miết hình nón (Hình 11-d) với góc giữa đường sinh của hình nón so với trục quay là $\alpha_2 = 11^\circ$. Trong trường hợp này, độ dày thành được tính toán sau bước chuyển tiếp thứ hai t_2 theo công thức [1]:

$$t_2 = t_1 (\sin \alpha_2 / \sin \alpha_1) \quad (3)$$

Theo công thức tính toán, độ dày phải là 0.86 mm. Nhưng thực tế, độ dày là 0.85-0.95 mm, sự sai lệch này là do trục uốn cong dưới tác động của con lăn tạo hình. Kiểm tra bằng dụng cụ và quan sát trực quan cho thấy kết quả mô phỏng tương đối tương đồng so với thực tế chế tạo.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu các tính chất của hợp kim ban đầu cho phép xác định rằng, tổ chức tế vi của vật liệu là đồng nhất, tính dẻo cao, có sự hiện diện của một lượng không đáng kể các hạt đa diện nhỏ và không ảnh hưởng đến cơ tính của vật liệu.

Xây dựng được mô hình vật liệu bằng cách sử dụng phương trình Hensel-Spittel dựa trên dữ liệu thu được bằng cách chôn các mẫu phôi trụ 10×10 mm.

Phát triển được quy trình công nghệ chế tạo chi tiết, bao gồm dát đẳng nhiệt và hai lần miết với xử lý nhiệt trung gian cho phép chế tạo phôi trụ rỗng CuCr08 với độ chính xác chiều dày thành tương đối cao và tính ổn định tốt.

Sử dụng mô hình vật liệu tìm được để mô hình hóa các quá trình dát đẳng nhiệt, miết.

Chế tạo chi tiết theo tỷ lệ 1/8.

Phân tích dữ liệu thu được cho phép kết luận có thể sản xuất chi tiết theo tỷ lệ 1:1 với quy trình công nghệ đã được phát triển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Бурлаков, И. А. (2008). Ротационная вытяжка деталей газотурбинных двигателей. *Заготовительные производства в машиностроении*, (4), 27.
- Ву Чонг Бач. (2021). *Совершенствование технологии изготовления осесимметричных тонкостенных изделий на основе применения метода интенсивной пластической деформации* [Кандидатская диссертация, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»].
- Кандаров, И. В. (2016). *Формирование*

регламентированной структуры в сплаве ВТ6 для повышения эксплуатационных свойств лопаток газотурбинного двигателя [Кандидатская диссертация, Набережночелнинский институт КФУ].

Корольков, В. И. (1997). *Математическое, методическое и программное обеспечение процессов ротационной вытяжки из листа и труб* [Докторская диссертация, Воронежский государственный технический университет].

Могильный, М. И. (1983). *Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках*. Машиностроение.

Раков, Д. Л., Сухоруков, Р. Ю., & Гаврилина, Л. В. (2015). Анализ и оценка технологий и оборудования для изготовления заготовок длинномерных полых валов газотурбинных двигателей из жаропрочных никелевых и титановых сплавов на базе морфологического

подхода. *Проблемы машиностроения и оптимизации*, (4), 136.

Утяшев, Ф. З., & Рааб, Г. И. (2013). *Деформационные методы получения и обработки ультрамелкозернистых и наноструктурных материалов*. Гилем.

Юдин, Л. Г., & Яковлев, С. П. (1984). *Ротационная вытяжка цилиндрических оболочек*. Машиностроение.

Bách, V. T., Điệp, Đ. N., & Hoàng, P. V. (2024). Ứng dụng mô hình vật liệu Titan VT1-0 với cấu trúc hạt mịn để mô phỏng quá trình biến dạng dẻo. *Tạp chí Khoa học Đại học Cửu Long*, (36), 20-26.

Sakai, T., Miura, H., Belyakov, A., Kaibyshev, R., & Jonas, J. J. (2014). Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions. *Progress in Materials Science*, 60(1), 130.