XÁC ĐỊNH HỆ SỐ NHẠY CẢM VỚI TỐC ĐỘ BIẾN DẠNG TRONG QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH SIÊU DẺO HỢP KIM NHÔM AA7075

Nguyễn Mạnh Tiến[1*], Nguyễn Trường An[1], Trần Đức Hoàn[1], Ong Thế Đức[2]

Tóm tắt: *Bài báo trình bày phương pháp xác định hệ số nhạy cảm của ứng suất chảy với tốc độ biến dạng m (hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng) trong suốt quá trình tạo hình siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075. Thực nghiệm tạo hình siêu dẻo ở trạng thái tự do được thực hiện dưới áp suất chất khí không đổi 0.6MPa và 0.8 MPa với nhiệt độ biến dạng 530^0C. Các giá trị của hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng xác định được có thể đánh giá khả năng tạo hình siêu dẻo của hợp kim ở các chế độ công nghệ khác nhau. Trên cơ sở đó, cho phép lựa chọn được các thông số công nghệ thích hợp khi tạo hình siêu dẻo tấm hợp kim nhôm AA7075.*

Từ khóa: Tạo hình siêu dẻo; Tạo hình siêu dẻo ở trạng thái tự do; Hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng; Hợp kim AA7075.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Siêu dẻo là khả năng kim loại hoặc hợp kim có thể biến dạng dẻo với mức độ lớn mà không bị phá hủy dưới tác động của ứng suất có giá trị nhỏ và phụ thuộc vào tốc độ biến dạng [1, 2]. Trạng thái siêu dẻo được đặc trưng bởi 3 dấu hiệu cơ bản: mức độ biến dạng dẻo rất lớn, có thể đạt tới hàng trăm, thậm chí hàng nghìn phần trăm mà vật liệu không bị phá hủy; ứng suất cần thiết để biến dạng vật liệu ở trạng thái siêu dẻo rất nhỏ so với biến dạng dẻo ở trạng thái thông thường; ứng suất biến dạng siêu dẻo rất nhạy cảm với sự thay đổi tốc độ biến dạng nghĩa là xu thế kim loại có thể biến cứng bởi tốc độ biến dạng. Trên hình 1 cho thấy, mức độ biến dạng rất lớn các mẫu sau thí nghiệm thử kéo trong trạng thái siêu dẻo của hợp kim Ti-5Al-3Mo-1,5V [3].



Hình 1. *Mẫu sau thí nghiệm thử kéo hợp kim Ti-5Ti-3Mo-1,5V.*

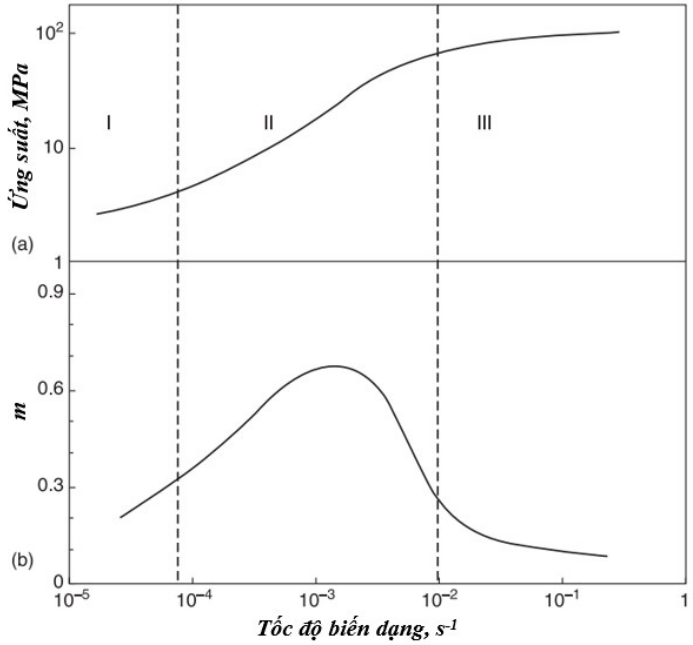
Phương trình đặc trưng mô tả ứng xử siêu dẻo của vật liệu được viết như sau [1,2]:

$$\sigma = K.\dot{\varepsilon}^m \tag{1}$$

Trong đó: σ - Ứng suất chảy của vật liệu; K – Hằng số vật liệu; $\dot{\varepsilon}$ - Tốc độ biến dạng; m – Hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng.

Khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu được đánh giá bởi giá trị hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng của ứng suất chảy - hệ số m. Vật liệu có hiện tượng siêu dẻo thì hệ số m nhận giá trị từ 0,3 đến 0,8. Giá trị m càng lớn thì khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu càng cao. Trong điều kiện lý tưởng hệ số m có thể đạt giá trị tới 1, tuy nhiên, giá trị lớn nhất của hệ số m với vật liệu siêu dẻo cấu trúc thực tế đạt khoảng 0,8.

Khi đó, có thể biểu diễn mối quan hệ giữa các đặc trưng siêu dẻo trên đồ thị hình 2. Trên hình biểu diễn mối quan hệ giữa ứng suất và hệ số m theo các giá trị tốc độ biến dạng khác nhau. Tùy theo giá giá trị tốc độ biến dạng khác nhau có thể chia biến dạng thành các vùng: vùng I là vùng biến dạng dẻo nhiệt độ cao - biểu hiện các giá trị hệ số m trong khoảng 0,1÷0,3; vùng II là vùng biến dạng siêu dẻo - giá trị hệ số m trong vùng này lớn hơn 0,3; vùng III là vùng biến dạng dẻo thông thường - giá trị hệ số m trong vùng rất nhỏ (< 0,05).



Hình 2. *Mối quan hệ giữa các đặc trưng siêu dẻo [1].*

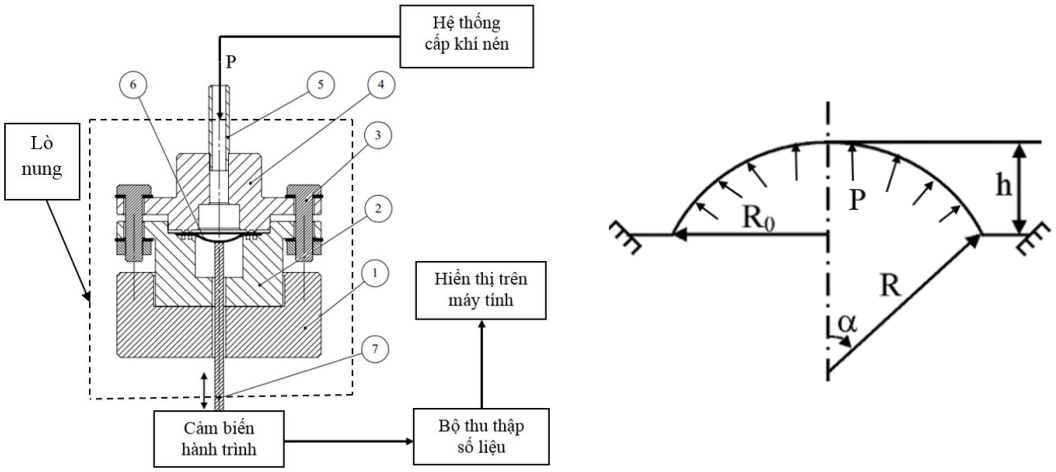
Thử nghiệm kéo đơn ở trạng thái đẳng nhiệt là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất để xác định các thông số đặc trưng của vật liệu siêu dẻo; ưu điểm của phương pháp này là sự đơn giản trong thử nghiệm và chi phí [4]. Tuy nhiên, giá trị của m không phải là hằng số và luôn phụ thuộc vào tốc độ biến dạng. Chính vì vậy, để khảo sát các giá trị của m tại các giá trị tốc độ biến dạng khác nhau trên cùng một thí nghiệm thử kéo đơn là tương đối khó khăn.

Trên cơ sở các phân tích trên, bài báo lựa chọn xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng theo phương pháp tạo hình siêu dẻo bằng áp suất khí nén trong trạng thái biến dạng tự do [1, 5-7]. Thực nghiệm được thực hiện với áp suất khí nén không đổi bằng 0.6MPa và 0.8MPa với nhiệt độ biến dạng 530^0C. Các giá trị của hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng được xác định có thể đánh giá khả năng tạo hình siêu dẻo của hợp kim ở các chế độ công nghệ khác nhau. Trên cơ sở đó, cho phép lựa chọn được các thông số công nghệ thích hợp khi tạo hình siêu dẻo tấm hợp kim nhôm AA7075.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM

2.1. Cơ sở phương pháp tạo hình siêu dẻo bằng áp suất khí nén trong trạng thái biến dạng tự do

Phương pháp xác định hệ số m trên cơ sở sử dụng thí nghiệm tạo hình siêu dẻo bằng áp suất khí nén trong trạng thái tự do được đưa ra bởi tại liệu [5-7] với mô hình tạo hình chi tiết bán cầu như hình 3. Trong đó, R_0 là bán kính bán cầu, P là áp suất khí nén tạo hình, h là chiều cao tức thời của phần đỉnh cầu lồi, R là bán kính tức thời bán cầu.



a) *b)*

Hình 3. *Mô hình hệ thống trang bị và khuôn (a) và sơ đồ nguyên lý (b) quá trình tạo hình siêu dẻo bằng áp suất khí nén trong trạng thái biến dạng tự do*

(1. Đế cối; 2. Cối; 3. Bulong kẹp; 4. Nắp bịt kín; 5. Ống dẫn khí nén; 6. Phôi; 7. Ty cảm biến hành trình).

Từ mô hình tạo hình như hình 3, các đại lượng v_1 và v_2 là tốc độ chuyển động của đỉnh cầu lồi với giá trị chiều cao h tương ứng (tương ứng với các giá trị P_1 và P_2), các giá trị của v_1 và v_2 được xác định theo độ nghiêng của tiếp tuyến với đường cong chiều cao đỉnh cầu lồi theo thời gian $h(t)$ (hình 4) [9]:

$$v_{1,2} = \left(\frac{dh}{dt}\right)_{1,2} \tag{2}$$

Các giá trị σ_i và $\dot{\varepsilon}_i$ tương ứng với chiều cao h_i, được xác định theo công thức:

$$\sigma_i = \frac{\left(R_0^{\,2} + h_i^{\,2}\right)^2 P}{4 S_0 h_i R_0^{\,2}} \tag{3}$$

$$\dot{\varepsilon}_i = \frac{2 h_i v_i}{R_0^{\,2} + h_i^{\,2}} \tag{4}$$

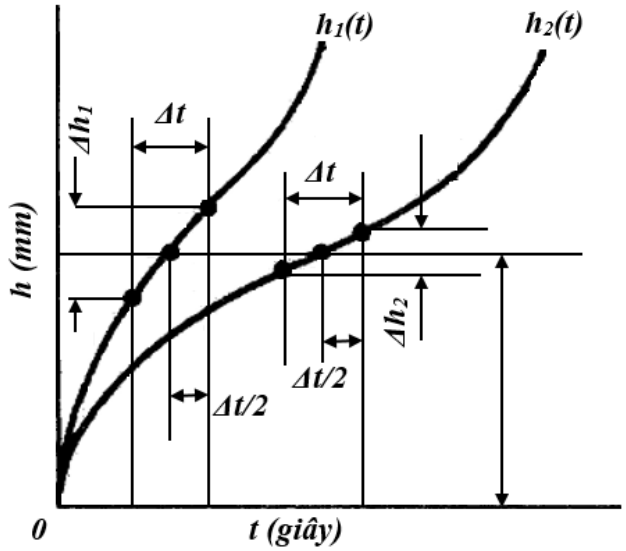
trong đó, S_0 - Chiều dày ban đầu của vật liệu với giả thiết chiều dày phân bố đồng đều trong quá trình biến dạng. Nghĩa là, bỏ qua sự phân bố không đồng đều chiều dày và nhận được kết quả tạo hình tự do phần lồi có dạng cầu, với bán kính tức thời được xác định [9]:

$$R_i = \frac{R_0^{\,2} + h_i^{\,2}}{2 h_i} \tag{5}$$

Với phương pháp này, kết hợp với các phương trình 1, 2, 3, 4, giá trị của hệ số m được xác định theo công thức [8, 9]:

$$m = \frac{\lg P_1 - \lg P_2}{\lg v_1 - \lg v_2} \tag{6}$$

trong đó, P_1 và P_2 tương ứng là áp suất chất khí không đổi trong các thí nghiệm tạo hình tự do bán cầu bằng áp suất khí nén qua lỗ cối tròn bán kính R_0.



Hình 4. *Đồ thị chiều cao đỉnh bán cầu theo thời gian với các áp suất P_1 và P_2.*

Kết quả giá trị m theo công thức (6) được xác định theo các cặp giá trị P và v, rõ ràng nó tương ứng với một giá trị trung bình từ hai giá trị tốc độ biến dạng, tính theo công thức (2).

2.2. Quá trình thực nghiệm

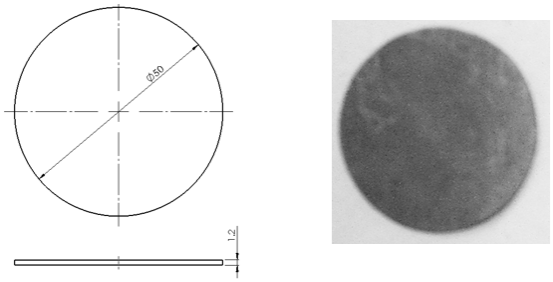
2.2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu là hợp kim nhôm AA7075, có thành phần hóa học theo khối lượng được phân tích và trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. *Thành phần hóa học hợp kim AA7075.*

Zn	Mg	Cu	Fe	Cr	Ti	Zr	Mn	Si
5.35	2.34	1.32	0.30	0.22	0.04	0.0027	0.024	0.05

Trong nghiên cứu này, phôi tấm hợp kim nhôm AA7075 đã được chuẩn bị có tổ chức hạt tương đối nhỏ mịn và đồng đều (~13µm), đảm bảo đáp ứng cho quá trình biến dạng tạo hình siêu dẻo [10]. Phôi có kích thước Φ50x1.2 mm như trong hình 5.



Hình 5. *Phôi ban đầu trước khi biến dạng.*

2.2.2. Thiết bị, dụng cụ thực nghiệm

Hệ thống trang thiết bị thực nghiệm được trình bày trên hình 6. Hệ thống cung cấp khí nén bao gồm: bình khí Argon sạch áp suất cao (Pmax = 150at), cụm van điều chỉnh áp suất khí tạo hình (Pmax = 25at), đường ống dẫn khí nén. Hệ thống lò nung bao gồm: lò nung điện trở nhiệt độ cao (Tmax =1000^{0}C), bộ hiển thị nhiệt độ lò. Hệ thống đo hành trình dịch chuyển của phôi biến dạng bao gồm (hình 7): cảm biến hành trình, bộ hiển thị và thu thập số liệu kết nối với máy tính, phần mềm thu thập số liệu Displacement_Test.

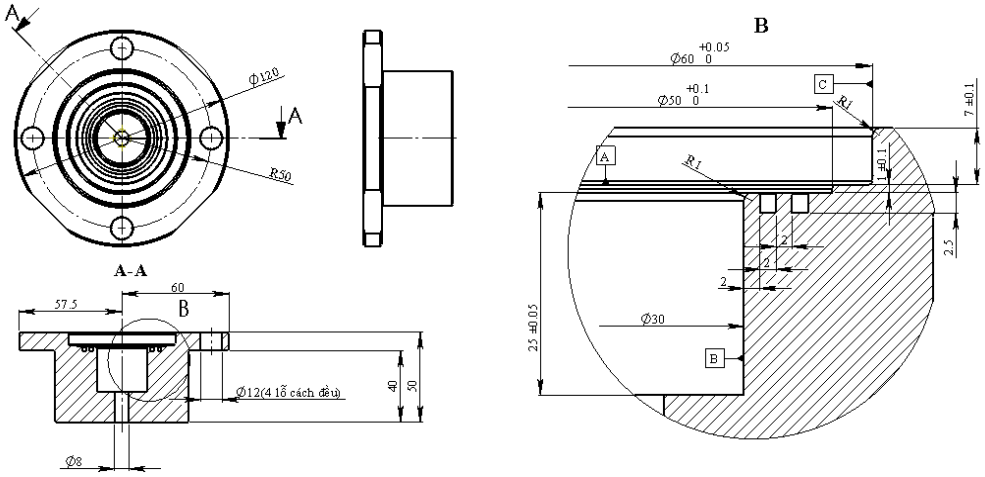


Hình 6. *Hệ thống trang bị thực nghiệm.*
1. Hệ thống cấp khí nén; 2. Hệ thống lò nung; 3,4. Hệ thống đo hành trình dịch chuyển của phôi; 5. Máy tính.



Hình 7. *Hệ thống đo hành trình chuyển động của phôi.*

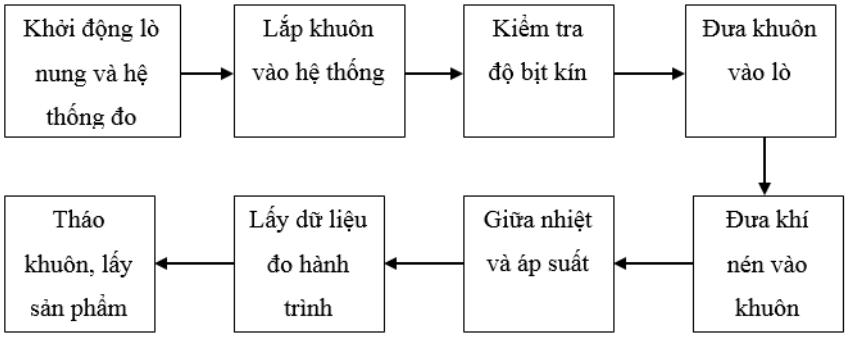
Hệ thống khuôn biến dạng được thiết kế theo phương pháp tạo hình âm bản được thể hiện trên hình 3 [1, 2, 8]. Khuôn được kẹp chặt bằng bulong, ống dẫn khí nén vào khuôn được hàn với nắp bịt kín. Do nhiệt độ tạo hình ở mức trung bình nên vật liệu khuôn được chọn là thép 45. Toàn bộ khuôn và ty cảm biến hành trình được đặt trong lò trong suốt quá trình biến dạng. Ty cảm biến số 7 luôn tiếp xúc với phôi ở phần đỉnh lồi của bán cầu, là phần biến dạng lớn nhất của phôi. Hình 8 thể hiện hình dạng và kích thước cối tạo hình.



Hình 8. *Bản vẽ 2D chi tiết cối tạo hình.*

2.2.3. Tiến hành thực nghiệm

Tiến hành tạo hình siêu dẻo theo các bước trình bày trên sơ đồ hình 9.



Hình 9. *Sơ đồ các bước tiến hành thực nghiệm tạo hình siêu dẻo.*

Các thí nghiệm tạo hình siêu dẻo bằng áp suất khí nén trong trạng thái tự do được thực hiện ở nhiệt độ 530^{0}C và các cặp áp suất khí nén lần lượt là 0.6MPa đến 0.8MPa (bảng 2). Hành trình dịch chuyển của phần đỉnh cầu lồi được xác định bằng hệ thống cảm biến đo hành trình. Tốc độ dịch chuyển của phôi ở phần đỉnh cầu lồi được xác định theo công thức số 3. Tốc độ biến dạng tương đương tại các thời điểm được xác định theo công thức số 5. Hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng được xác định tại các thời điểm theo công thức số 2.

Bảng 2. *Thông số công nghệ của các thí nghiệm tạo hình.*

TT	1	2	3	4
Nhiệt độ, ^{0}C	530		530	
Áp suất khí nén, MPa	0.6	0.65	0.8	0.85

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Sản phẩm và chiều cao sản phẩm sau quá trình tạo hình siêu dẻo thu được các chi tiết dạng bán cầu được trình bày trên hình 10 và bảng 3.

Đồ thị dịch chuyển của phần đỉnh cầu lồi theo thời gian của các cặp áp suất 0.6 và 0.65MPa, 0.8 và 0.85MPa, được thể hiện lần lượt trên các hình 11, hình 12.

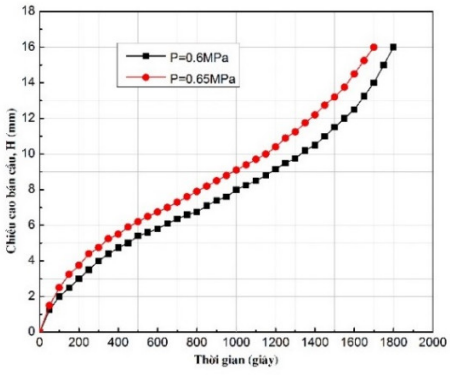
Đồ thị xác định hệ số m theo chiều cao phần đỉnh cầu lồi và theo tốc độ biến dạng với các áp suất khí nén khác nhau ở nhiệt độ 530^{0}C được thể hiện trên hình 13 và hình 14.



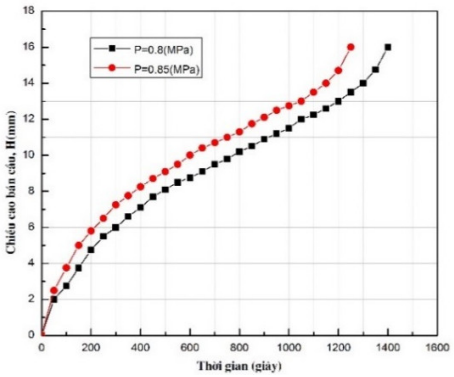
Hình 10. *Sản phẩm của quá trình tạo hình siêu dẻo trong trạng thái tự do.*

Bảng 3. *Chiều cao sản phẩm và thời gian tạo hình của các mẫu thí nghiệm.*

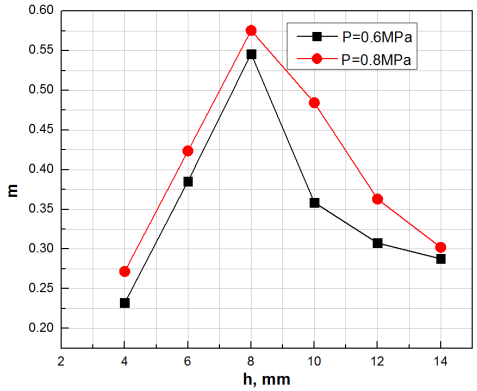
TT	**Nhiệt độ tạo hình, ^{0}C**	**Áp suất tạo hình, MPa**	**Chiều cao, mm**	**Thời gian, s**
1	530	0.6	16	1800
2	530	0.65	16	1680
3	530	0.8	16	1400
4	530	0.85	16	1200



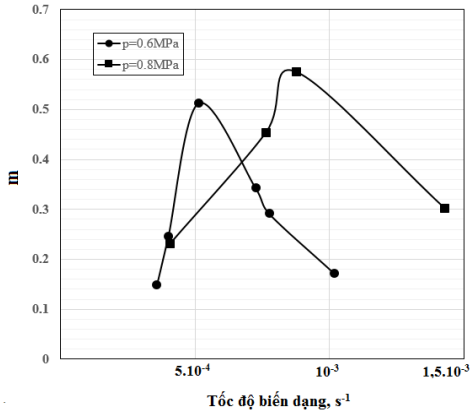
Hình 11. *Đồ thị h(t) tại nhiệt độ 530^{0}C với cặp áp suất khí nén 0.6MPa và 0.65Mpa.*



Hình 12. *Đồ thị h(t) tại nhiệt độ 530^{0}C với cặp áp suất khí nén 0.8MPa và 0.85Mpa.*



Hình 13. *Đồ thị quan hệ giữa m – h tại nhiệt độ 530^{0}C với các áp suất khác nhau.*



Hình 14. *Đồ thị quan hệ giữa $m - \dot{\varepsilon}$ tại nhiệt độ 530^{0}C với các áp suất khác nhau.*

Nhận xét:

Nhận thấy rằng, phần đầu tiên của đường cong h(t) trên các hình 11, hình 12, được mô tả bằng sự tăng đột ngột của chiều cao đỉnh cầu lồi và ở đó phần độ nghiêng của đường cong là lớn hơn. Sự gia tăng độ nghiêng của đường cong này tương ứng với các giá trị tốc độ biến dạng tăng. Trong phần thứ hai của đường cong h(t), sự tăng của chiều cao đỉnh lồi bán cầu theo thời gian là trung bình, do đó, độ nghiêng của đường cong gần như ổn định. Trong phần cuối của đường cong, độ nghiêng của đường cong lại tăng lên, do đó, tốc độ biến dạng cũng tăng. Khi áp suất tăng, khả năng biến dạng biến dạng của vật liệu tăng và do đó, thời gian tạo hình giảm.

Độ nhạy cảm với tốc độ biến dạng là một chỉ số quan trọng trong quá trình tạo hình siêu dẻo nhằm chống lại sự hình thành cổ thắt trong vật liệu khi biến dạng. Căn cứ vào đồ thị mối quan hệ giữa $m - \dot{\varepsilon}$ (hình 14) nhận thấy, khi áp suất tăng (từ 0.6MPa đến 0.8MPa), đường cong độ nhạy cảm với tốc độ biến dạng sẽ dịch chuyển sang phần có tốc độ biến dạng cao hơn. Nhận thấy, với vật liệu là hợp kim AA7075 đã được chuẩn bị tổ chức, hệ số m trong quá trình tạo hình siêu dẻo trong trạng thái tự do với áp suất khí nén và nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng từ 0,3 - 0,6. Kết quả này khẳng định khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu nghiên cứu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp và quá trình thực nghiệm xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng khi tạo hình siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075 đã được chuẩn bị tổ chức ở trạng thái biến dạng tự do với nhiệt độ và áp suất không đổi. Các kết quả khẳng định khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu. Bên cạnh đó, đánh giá được mối quan hệ giữa hệ số m và tốc độ biến dạng khi tạo hình. Từ các kết quả thu được cho phép xác định được các thông số như: nhiệt độ biến dạng, áp suất khí nén tạo hình, thời gian tạo hình cho việc tính toán, thiết kế tiếp theo quy trình công nghệ tạo hình siêu dẻo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Gillo Giuliano, "*Superplastic forming of advanced metallic materials*", Woodhead Publishing Limited (2011).

[2]. T.G Nieh, J. Wadsworh, O.D. Sherby, "*Superplasticity in metals and ceramics*", Cambridge University press (2005).

[3]. Lê Mạnh Hùng, Nguyễn Trường An, Đinh Văn Phong, *"Nghiên cứu khả năng biến dạng dẻo của hợp kim Ti-5Al-3Mo-1,5V có tổ chức hạt nhỏ mịn khi kéo đẳng nhiệt,"* Hội nghị KHCN Toàn quốc về Cơ khí – Động lực năm 2017, **Tập 2** (2017), Tr.61-65.

[4]. AnTon Smolej, *"Determination of the strain rate sensitivity and the activation energy of deformation in the superplastic aluminium alloy Al-Mg-Mn-Sc",* RMZ – Materials and Geoenvironment, **Vol.56**, No.4 (2009), pp.389–399.

[5]. Youssef Aoura, David Ollivier, Abdelhak Ambari, Philippe Dal Santo, *"Determination of material parameters for 7475 Al alloy from bulge forming tests at constant stress",* Journal of Materials Processing Technology, **Vol.145** (2004), pp.352–359.

[6]. Namas Chandra, *"Constitutive behavior of superplastic materials",* International Journal of Non Linear Mechanics **Vol.37** (2002), pp.461 – 484.

[7]. S.Ramesh Babu, S. Deivanayagam, M. Aravind, *"Determination of Material Parameters during Superplastic Forming of AA 5086 Alloy",* Procedia Engineering **Vol.97 (**2014**)**, pp.1379 – 1386.

[8]. F. U. Enikeev and A. A. Kruglov*,"Analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm",* Int. J. Mech. Sci. **Vol. 37**, No. 5 (1995), pp.473-483.

[9]. F. Jovane, *"An approximate analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm: theory and experiments",* Int. J . Mech. Sci. Pergamon Press, **Vol. 10 (**1968), pp.405-427.

[10]. Nguyen Manh Tien, Nguyen Truong An, Tran Duc Hoan*,* "*Preparation and microstructural characterization of the Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloy for superplastic deformation",* Journal of Science and Technology, No. 198 (2019), pp.11 – 16.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE STRAIN RATE SENSITIVITY
DURING SUPERPLASTIC FORMING PROCESS OF AA 7075 ALLOY

The paper presents the method of determining the sensitivity coefficient of yield stress with strain rate m (the strain rate sensitivity) during the superplastic forming process of AA 7075 aluminum alloy. The superplastic free forming test was performed under constant gas pressures from 0.6MPa and 0.8MPa with temperatures of 530^{0}C. The values of the strain rate sensitivity can evaluate the superplastic forming ability of alloy in different technological modes. Tests results are allowed to choose the process parameters in the superplastic forming of AA7075 aluminum alloy sheet.

Keywords: Superplastic forming; Superplastic free forming test; Strain rate sensitivity; AA7075 alloy.

Nhận bài ngày 12 tháng 9 năm 2019
Hoàn thiện ngày 27 tháng 02 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 12 tháng 6 năm 2020

Địa chỉ: [1]Học viện Kỹ thuật quân sự;
[2]Nhà máy Z117, TCCNQP.
*Email: manhtiennguyen84@gmail.com.