

ẢNH HƯỞNG CỦA MỨC ĐỘ BIẾN DẠNG ĐẾN TỔ CHỨC HỢP KIM NHÔM AA7075 KHI CHUẨN BỊ TỔ CHỨC BÁN LỎNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP ÉP CHU KỲ TRONG KHUÔN KÍN

EFFECT OF DEFORMATION LEVELS ON AA7075 ALUMINUM ALLOY MICROSTRUCTURE WHEN PREPARING SEMI-SOLID MICROSTRUCTURE USING MULTIDIRECTIONAL FORGING

Đào Văn Lưu¹, Hoàng Tú²,
Nguyễn Anh Tuấn^{3,*}, Đặng Văn Thức¹

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.210>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của mức độ biến dạng đến tổ chức tế vi khi chuẩn bị tổ chức bán lỏng hợp kim nhôm AA7075 bằng phương pháp ép chu kỳ trong khuôn kín kết hợp gia nhiệt vùng 2 pha rắn - lỏng. Thực nghiệm cho thấy, khi mức độ biến dạng tăng, tổ chức tế vi thu được nhỏ mịn, đồng đều. Tuy vậy, khi mức độ biến dạng quá lớn (số chu kỳ ép lớn hơn 6) thì tổ chức thu được thay đổi không nhiều. Giá trị hợp lý khi ép chuẩn bị tổ chức bán lỏng hợp kim nhôm AA7075 là chu kỳ ép $n = 5 \sim 6$.

Từ khóa: Bán lỏng; ép chu kỳ; tổ chức tế vi; hợp kim nhôm AA7075.

ABSTRACT

This article presents the results of research on the influence of the deformation levels on the microstructure when preparing a semi-solid microstructure of AA7075 aluminum alloy using the multidirectional forging with heating in the two-phase zone. Experiments show that, as the deformation level increases, the microstructure becomes small, smooth, and uniform. However, when the deformation level is too large (the number of pressing cycles is greater than 6), the resulting organization does not change much. The reasonable value when pressing to prepare a semi-solid structure of AA7075 aluminum alloy is pressing cycle $n = 5 \sim 6$.

Keywords: Semi-solid, multidirectional forging, AA7075 aluminum alloy.

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

³Trường Cao đẳng Kỹ thuật Phòng không - Không quân

*Email: tuantamhop@gmail.com

Ngày nhận bài: 17/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 29/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

1. MỞ ĐẦU

Công nghệ tạo hình bán lỏng (SSM - Semi-solid Metal Processing, SSM) là phương pháp tạo hình tiên tiến, tổng hợp được những ưu điểm của công nghệ dập nóng và đúc truyền thống, có thể chế tạo được sản phẩm có cơ tính tổng

hợp cao mà chỉ cần qua một nguyên công tạo hình [1-5]. Công nghệ tạo hình này gồm hai quá trình cơ bản: quá trình chuẩn bị tổ chức cầu hóa và quá trình tạo hình. Trong quá trình chuẩn bị tổ chức, điểm mấu chốt là tạo được phối có tổ chức cầu hóa, nhỏ mịn, phân bố đồng đều trong toàn bộ thể tích [2-5]. Có rất nhiều phương pháp để thu được tổ chức cầu hóa như: khuấy điện từ, khuấy cơ học, đúc gần nhiệt độ đường lỏng, phun kim loại lỏng... trong đó kích hoạt pha lỏng sau biến dạng (SIMA - Strain Induced Melt Activation) với ưu điểm công nghệ đơn giản, dễ thực hiện, chi phí thấp mà vẫn thu được tổ chức cầu hóa, nhỏ mịn, phân bố đồng đều nên được nghiên cứu khá rộng rãi [6-12].

Trong phương pháp SIMA chuẩn bị tổ chức phi bán lỏng, biến dạng sơ bộ ban đầu có vai trò rất quan trọng, ảnh hưởng rất lớn đến tổ chức, tính chất sản phẩm sau này. Frank Czerwinski [3] đã tổng kết các phương pháp các phương pháp cơ nhiệt cho việc chuẩn bị tổ chức cho phi bán lỏng và chỉ ra rằng trong các phương pháp biến dạng sơ bộ, phương pháp ép chu kỳ trong khuôn kín có đặc điểm kết cấu đơn giản, có thể tạo được mức độ biến dạng lớn nhờ biến dạng tích lũy mà không làm thay đổi hình dạng phi ban đầu.

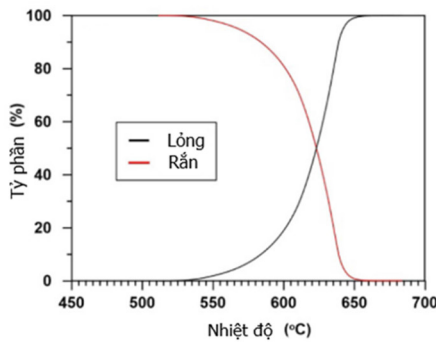
Trong bài báo này, phương pháp ép chu kỳ trong khuôn kín được lựa chọn để chuẩn bị tổ chức bán lỏng bằng phương pháp SIMA. Ảnh hưởng của mức độ biến dạng (đánh giá thông qua số chu kỳ ép, n) được lựa chọn để khảo sát ảnh hưởng của nó đến tổ chức tế vi thu được sau khi chuẩn bị tổ chức bán lỏng hợp kim nhôm AA7075. Kết quả nghiên cứu là một cơ sở quan trọng để lựa chọn thông số công nghệ hợp lý trong việc chuẩn bị tổ chức bán lỏng hợp kim nhôm AA7075.

2. THỰC NGHIỆM

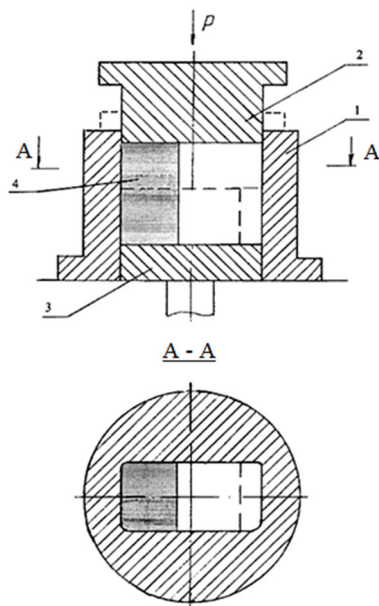
Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này là hợp kim nhôm AA7075 với thành phần hoá học như trong bảng 1. Đường cong tỉ phần pha rắn - lỏng với nhiệt độ thu được nhờ phương pháp phân tích nhiệt quét vi sai DSC như hình 1 [5].

Bảng 1. Thành phần hóa học của nhôm AA7075

Thành phần	Zn	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Al
%	5,6	0,23	1,6	0,5	2,5	0,3	0,4	Còn lại



Hình 1. Đường cong DSC tỉ phần pha rắn - lỏng theo nhiệt độ hợp kim AA7075



Hình 2. Kết cấu khuôn ép

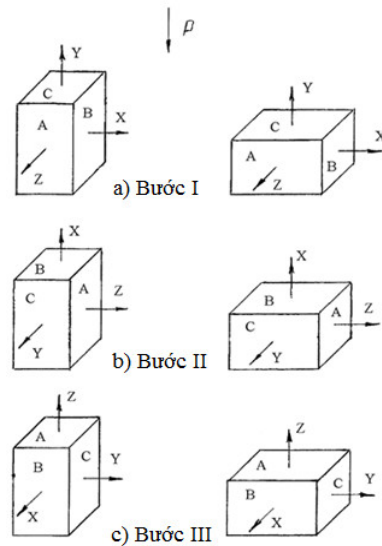
1. Cối; 2. Chày; 3. Đế cối, ty đẩy; 4. Phôi

Biến dạng sơ bộ trong nghiên cứu này là phương pháp ép chu kỳ trong khuôn kín, khuôn có kết cấu như hình 2. Một chu kỳ biến dạng ép trong khuôn kín gồm 3 bước biến dạng và lật phôi với sơ đồ như hình 3. Phôi ban đầu có kích thước 17x17x25, phôi và khuôn được gia nhiệt đến 300°C trong mỗi lần ép (hình 4), do có lật phôi nên cứ sau một chu kỳ biến dạng biến dạng trong phôi là khá đồng đều. Nguyên công này được thực hiện trên máy ép thủy lực METL YH32-100T tại Phòng thí nghiệm Bộ môn Gia công Áp lực, khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

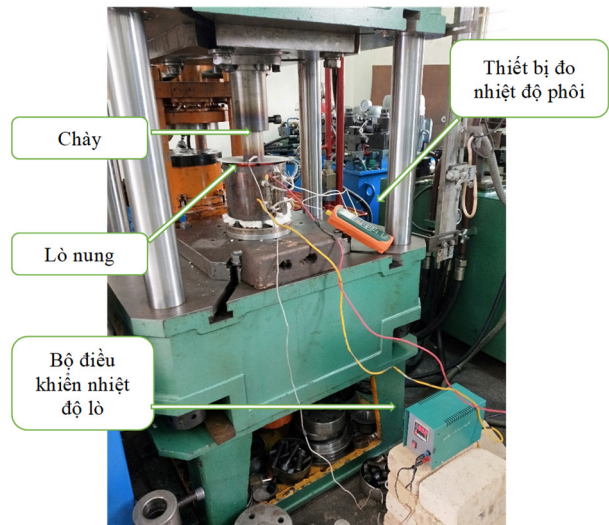
Khoảng nhiệt độ tạo hình là khoảng nhiệt độ ứng với tỷ phần pha lỏng được lựa chọn khi tạo hình, theo tài liệu [5, 7] khoảng nhiệt độ tạo hình xúc biến là khoảng nhiệt độ tương ứng với tỷ phần pha lỏng khoảng 0,2. Căn cứ vào đường cong tỷ phần pha lỏng, lựa chọn nhiệt độ tạo hình cho hợp kim nhôm ADC12 là 600°C.

Phôi sau biến dạng được gia nhiệt trong lò điện trở Nabertherm tại Phòng thí nghiệm Bộ môn Vật liệu, Học viện

Kỹ thuật Quân sự. Nhiệt độ được điều chỉnh trong khoảng nhiệt độ bán lỏng, sau đó được giữ nhiệt trong một thời gian nhất định (với hợp kim nhôm AA7075 thì nhiệt độ gia nhiệt được lựa chọn là 600°C; thời gian giữ nhiệt 10~30 phút [5]). Sau đó, phôi được làm nguội nhanh trong nước, được lấy mẫu, mài thô, mài tinh, đánh bóng, tẩm thực và được tiến hành phân tích trên kính hiển vi AXIO A2M.



Hình 3. Sơ đồ biến dạng trong một chu kỳ ép



Hình 4. Thiết bị thực nghiệm chu kỳ trong khuôn kín

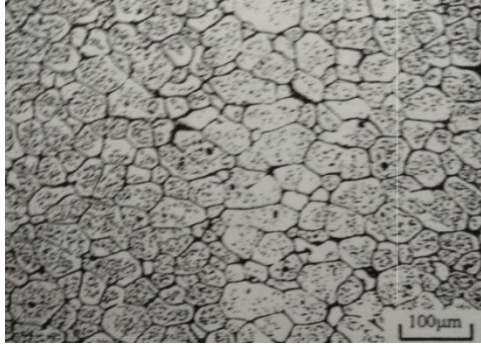
Tổ chức tế vi được phân tích bằng phần mềm phân tích định lượng thông qua ảnh chụp tổ chức tế vi và tính toán bằng phần mềm ImageJ. Thông số chính được đánh giá là đường kính hạt trung bình (d) được tính toán dựa vào công

$$\text{thức } d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}, \text{ trong đó } A \text{ là diện tích của hạt.}$$

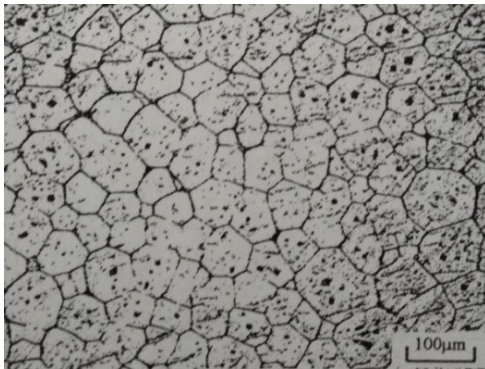
Lựa chọn sơ bộ thông số thực nghiệm: Với hợp kim nhôm AA7075, chọn nhiệt độ gia nhiệt trong khoảng 600°C; thời gian giữ nhiệt trong từ 20 phút. Số lần biến dạng cần đảm bảo mức độ biến dạng đủ lớn, đồng đều, nên sơ bộ chọn $n = 3\sim 7$.

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

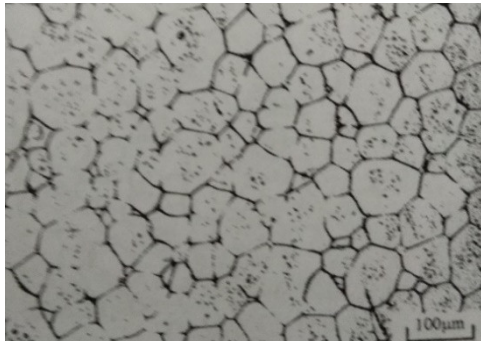
Tổ chức tế vi của phôi AA7075 với số lần ép $n = 3 - 7$, gia nhiệt $T = 600^{\circ}\text{C}$ với thời gian giữ nhiệt $\tau = 20$ phút thể hiện trên hình 5. Hình 6 là đồ thị ảnh hưởng của số lần ép đến kích thước hạt trung bình của hạt khi được chuẩn bị tổ chức bán lỏng bằng phương pháp ép chu kỳ trong khuôn kín.



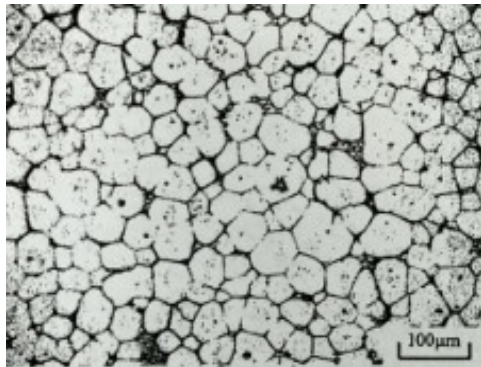
a)



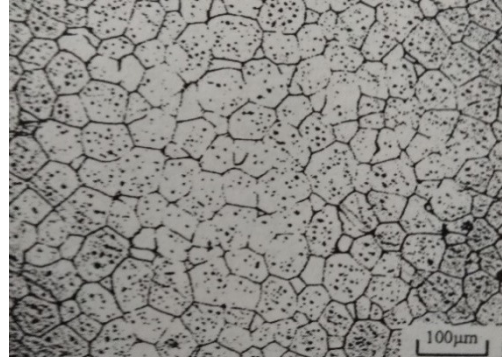
b)



c)



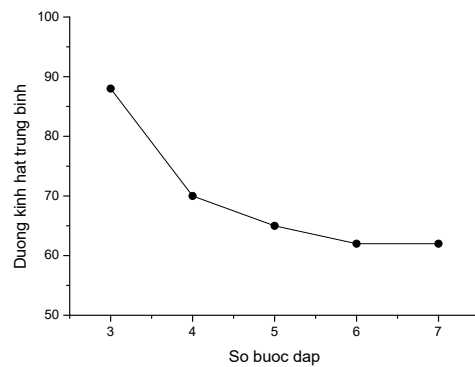
d)



e)

Hình 5. Tổ chức tế vi với số lần ép khác nhau ($T_n = 600^{\circ}\text{C}$; $\tau = 20$ phút)

a) $n = 3$; b) $n = 4$; c) $n = 5$; d) $n = 6$; e) $n = 7$



Hình 6. Ảnh hưởng của số lần ép đến kích thước hạt ($T_n = 600^{\circ}\text{C}$; $\tau = 20$ phút)

Hình 5 và 6 cho thấy, khi mức độ biến dạng nhỏ ($n = 3$), tổ chức thu được đã có đặc trưng cầu hóa, tuy nhiên, các hạt phân bố không đồng đều, độ tròn các hạt không cao, trong khi hạt khá thô to, hạt có kích thước $d_{tb} = 88\mu\text{m}$. Khi tăng số lần ép, tổ chức thu được có xu hướng nhỏ mịn, đồng đều và cầu hóa tốt hơn, kích thước các hạt giảm. Khi số lần ép tăng lên $n = 4$, so với $n = 3$, đường kính hạt giảm khá mạnh từ $88\mu\text{m}$ xuống còn $70\mu\text{m}$. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng số lần ép, kích thước hạt tiếp tục nhỏ, hạt tròn hơn nhưng với mức độ chậm lại (hình 6). Khi mức độ biến dạng đủ lớn, thì sự thay đổi đó không rõ rệt. Cụ thể, với số lần ép $n = 6$ và $n = 7$, có thể thấy rằng kích thước hạt thay đổi không nhiều, đồ thị gần như nằm ngang, ảnh hưởng của mức độ biến dạng không còn lớn nữa. Điều này chứng tỏ với số lần ép $n = 6$ thì mức độ biến dạng đã đủ lớn, đảm bảo thuận lợi cho quá trình cầu hoá tổ chức phôi bán lỏng. Hơn nữa, nếu tăng số lần ép sẽ mất thêm chi phí về năng lượng, thời gian ép, trong khi hiệu quả không đáng kể.

Quá trình biến dạng là quá trình tích lũy năng lượng biến dạng trong vào bên trong vật liệu, là động lực điều khiển quá trình kết tinh lại, thể hiện thông qua trình tạo mầm và phát triển mầm. Biến dạng ban đầu tạo ra các vị trí có mật độ tập trung lệch cao do đẩy các lệch đã tồn tại trong vật liệu về phía biên giới hạt, đồng thời tích lũy một lượng năng lượng biến dạng giữa các hạt. Chúng sẽ tạo thành các hạt con đa cạnh khi nung đến nhiệt độ kết tinh lại. Khi quá trình

nung đạt đến nhiệt độ bán lỏng, sự xoay và dịch chuyển của chúng đã tạo thành các hạt cầu hóa [3]. Nếu tiếp tục tăng số lần biến dạng $n > 6$, tuy rằng lệch tiếp tục được sinh ra nhưng mức độ tập trung của lệch không còn nhiều như trước do vậy hiệu quả biến dạng với số lần dập $n > 6$ giảm đi, trong khi mất nhiều chi phí năng lượng. Do vậy, số chu kỳ ép hợp lý trong nghiên cứu này là $n = 5\sim 6$.

4. KẾT LUẬN

1. Phương pháp SIMA với biến dạng sơ bộ là ép chu kỳ trong khuôn kín, sau khi gia nhiệt và giữ nhiệt ở vùng bán lỏng đã tạo được tổ chức bán lỏng với kích thước hạt nhỏ cầu hoá và đồng đều.

2. Với số chu kỳ ép trong khuôn kín lớn hơn 6, số lần ép ít ảnh hưởng đến kích thước và độ cầu của hạt sau khi nung phôi đến nhiệt độ bán lỏng.

3. Thông số công nghệ hợp lý cho hợp kim nhôm AA7075 là số lần ép chu kỳ trong khuôn kín là $n = 6$ cho đường kính hạt trung bình 62,6 μm .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dao V, Zhao S, Lin W, Zhang C, "Effect of process parameters on microstructure and mechanical properties in AlSi9Mg connecting-rod fabricated by semi-solid squeeze casting," *Materials Science and Engineering: A*, 558, 95-102, 2013
- [2]. Flemings M C, "Dendrite Fragmentation in Semisolid Casting: Could we Do this Better?," *Solid State Phenomena*, 285, 3-11, 2019.
- [3]. Czerwinski F, "Thermomechanical Processing of Metal Feedstock for Semisolid Forming: A Review," *Metallurgical and Materials Transactions B*, 49 (6), 3220-3257, 2018.
- [4]. Mohammadi H, Ketabchi M, Kalaki A, "Microstructure Evolution of Semi-Solid 7075 Aluminum Alloy During Reheating Process," *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20 (7), 1256-1263, 2010.
- [5]. Binesh B, Aghaie-Khafri M, "Phase Evolution and Mechanical Behavior of the Semi-Solid SIMA Processed 7075 Aluminum Alloy," *Metals*, 6 (3), 23, 2016.
- [6]. Binesh B, Aghaie-Khafri M, "RUE-based semi-solid processing: Microstructure evolution and effective parameters," *Materials & Design*, 95, 268-286, 2016.
- [7]. Bolouri A, Shahmiri M, Kang C G, "Study on the effects of the compression ratio and mushy zone heating on the thixotropic microstructure of AA 7075 aluminum alloy via SIMA process," *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (2), 402-408, 2011.
- [8]. Fu J, Wang S, Wang K, "Influencing factors of the coarsening behaviors for 7075 aluminum alloy in the semi-solid state," *Journal of Materials Science*, 53 (13), 9790-9805, 2018.
- [9]. Guo L, Wen X, Bao Q, Guo Z, "Removal of Tramp Elements within 7075 Alloy by Super-Gravity Aided Rheorefining Method," *Metals*, 8 (9), 12, 2018.

[10]. Sang-Yong L, Jung-Hwan L, Young-Seon L, "Characterization of Al 7075 alloys after cold working and heating in the semi-solid temperature range," *Journal of Materials Processing Technology*, 111 (1-3), 42-47, 2001.

[11]. Bing Li, BG Teng, De-Gao Luo, "Effects of Passes on Microstructure Evolution and Mechanical Properties of Mg-Gd-Y-Zn-Zr Alloy During Multidirectional Forging," *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)* 31 (10), 1009-1018, 2018.

[12]. Kishchik M S, Mikhaylovskaya A V, Kotov A D, Mosleh A O, et al., "Effect of Multidirectional Forging on the Grain Structure and Mechanical Properties of the Al(-)Mg(-)Mn Alloy," *Materials (Basel)*, 11 (11), p 17, 2018.

AUTHORS INFORMATION

Dao Van Luu¹, Hoang Tu², Nguyen Anh Tuan³, Dang Van Thuc¹

¹Military Technical Academy, Vietnam

²University of Transport Technology, Vietnam

³Air Force Air Defense Technical College, Vietnam