



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn/>



Thiết kế, chế tạo khuôn ép để gia công hợp kim AZ31 thể khối đạt cấu trúc siêu mịn bằng phương pháp biến dạng dẻo mảnh liệt theo kỹ thuật ép định hướng trên rãnh chu kỳ

Phạm Thị Thủy^{1,*}, Lê Quang Thịnh¹, Đặng Thị Hồng Huế²

¹ Khoa Cơ điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Viện Khoa học và Kỹ thuật Vật liệu, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 09/9/2016
Chấp nhận 24/10/2016
Đăng online 20/12/2016

Từ khóa:
AZ31
Biến dạng dẻo mảnh liệt
Ép định hướng trên rãnh
chu kỳ
Tổ chức tế vi

TÓM TẮT

Biến dạng dẻo mảnh liệt đã mở ra hướng đi mới trong công nghệ chế tạo vật liệu siêu mịn, trong đó có kỹ thuật ép định hướng trên rãnh chu kỳ. Chất lượng và kích thước hạt nhận được phụ thuộc rất nhiều vào thông số hình học của khuôn, nhiệt độ ép, số chu kỳ ép,... Nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố hình học của khuôn ép tới chất lượng vật liệu nhận được. Dựa trên kết quả nghiên cứu đó, chúng tôi đã tiến hành chế tạo khuôn ép để gia công hợp kim AZ31. Thử nghiệm cho thấy, sau 6 lần ép kết cấu khuôn ép làm việc ổn định và vật liệu ép AZ31 đạt cấu trúc mịn hơn.

© 2016 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Đặt vấn đề

Với xu thế hiện nay, việc sử dụng các kim loại có trọng lượng nhỏ như hợp kim magiê trong nhiều lĩnh vực ngày một tăng do đặc tính giá trị nhất của magiê là nhẹ, nhẹ hơn đồng năm lần, bốn lần rưỡi nhẹ so với sắt và một lần rưỡi so với nhôm. Để chế tạo loại vật liệu này hiện nay người ta dùng phương pháp cơ - nhiệt luyện gồm biến dạng dẻo hợp kim trước khi hóa già nhằm tăng độ bền và giới hạn chảy của vật liệu trong đó có

phương pháp biến dạng dẻo mảnh liệt theo kỹ thuật ép định hướng trên rãnh chu kỳ.

Từ các kết quả đã công bố làm cơ sở cho nghiên cứu, tuy nhiên chỉ có vài công bố trên thế giới về hành vi biến dạng dẻo mảnh liệt theo kỹ thuật ép định hướng trên rãnh chu kỳ cho hợp kim magiê. Trong nước gần như chưa có nên rất cần những nghiên cứu về sự biến dạng của hợp kim magiê. Tại Việt Nam, đây là lần đầu tiên đặt vấn đề nghiên cứu một cách bài bản về kỹ thuật ép định hướng trên rãnh chu kỳ cho hợp kim magiê. Từ trước tới nay, chưa có một công bố nào có liên quan tới kỹ thuật này.

Kết quả nghiên cứu của đề tài chắc chắn sẽ góp phần trong việc chế tạo hợp kim magiê thể khối hạt siêu mịn ứng dụng trong nước làm các

*Tác giả liên hệ.

E-mail: phamthithuy@humg.edu.vn

thiết bị điện tử cầm tay cao cấp như vỏ máy tính xách tay, máy tính bảng, điện thoại di động, máy chụp hình, ghi hình đáp ứng yêu cầu ngày càng cao về chất lượng sản phẩm và tiết kiệm vật liệu.

Với kỹ thuật gia công này, khuôn ép là bộ phận dụng cụ chính để chế tạo hợp kim magiê cấu trúc siêu mịn. Việc tính toán thiết kế và chế tạo khuôn sẽ có ý nghĩa rất lớn, tạo cơ sở cho việc nghiên cứu chế tạo hợp kim magiê thể khối có cấu trúc hạt siêu mịn.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết bài toán ép định hướng trên rãnh chu kỳ

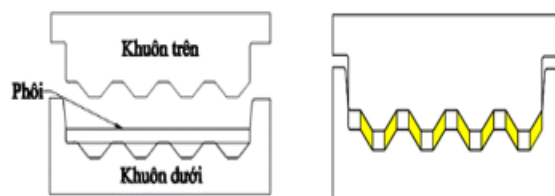
Tấm kim loại được đặt trong một bộ khuôn, mẫu dạng tấm bị biến dạng cắt mảnh liệt trên các rãnh khuôn (Kazeminezhad và nnk, 2011; Shirdel và nnk, 2010). Khe hở giữa khuôn trên và khuôn dưới tương đương với chiều dày của phôi tấm (Hình 1b), những phần kim loại bị ép trên phần nghiêng của khuôn đã bị biến dạng cắt

thuần túy trong mặt phẳng biến dạng (Hình 1c) (Lee and Park, 2002). Trong suốt chu kỳ thứ hai, phôi tạo hình sóng được nắn thẳng (Hình 1d). Quá trình này lặp lại cho tới khi tấm bị biến dạng đủ lớn để đạt cấu trúc siêu hạt, điều này được thể hiện như Hình 1.

Việc xác định kích thước hình học và chế tạo khuôn là khâu rất quan trọng, đòi hỏi sự chính xác về kích thước, chuẩn về hình dạng hình học. Các tính năng kỹ thuật và khả năng chịu nhiệt, chịu tải, độ bền, độ cứng vững phải đạt yêu cầu. Khi chế tạo khuôn, phải tạo góc lượn giữa phần nghiêng và phần phẳng của khuôn ép sóng để tránh thay đổi diện tích đột ngột và làm giảm sự tập trung ứng suất. Chiều rộng và chiều sâu của khuôn ép bằng chiều dày phôi để đảm bảo sự phân bố biến dạng đồng đều trên phôi và chiều dày phôi trước và sau biến dạng không thay đổi. Thông số cơ bản của khuôn tạo hình được thể hiện trên Hình 2. Ở đó, chiều rộng (t) và chiều sâu (t) của rãnh trên khuôn lượn sóng bằng nhau, còn góc nghiêng của rãnh trên khuôn bằng 45° (Wang và nnk, 2008).



a) Hình vẽ 3D khuôn ép tạo hình và khuôn ép duỗi phẳng

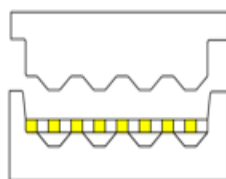


b) Trước quá trình ép

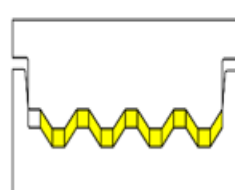
c) Sau một lần ép tạo hình



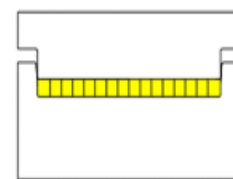
d) Sau ép duỗi phẳng



e) Sau khi quay phôi (180°)



f) Sau hai lần ép tạo hình

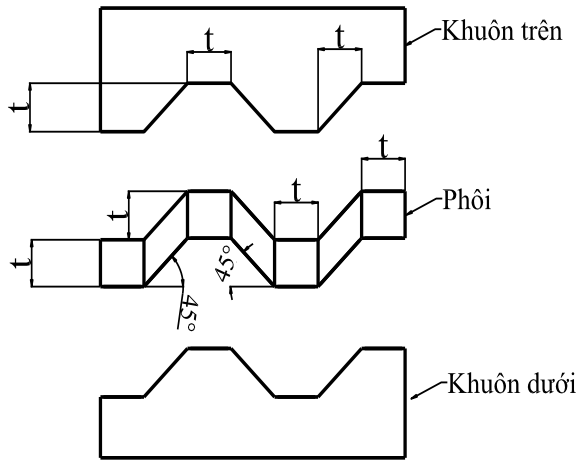


g) Sau ép duỗi phẳng

Hình 1. Mô tả quá trình ép định hướng trên rãnh chu kỳ

Bảng 1: Thành phần hóa học của thép SKD61 (Lê Trung Kiên và Lê Gia Bảo, 2016).

Nguyên tố	C%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	Si%
Thành phần	0,3-0,4	< 0,5	4,5-5,5	1,0-1,5	0,8-1,2	0,8-1,2



Hình 2. Thông số cơ bản của khuôn ép

Bảng 2: Cơ tính của thép SKD61 khi nhiệt luyện đạt độ cứng 52HRC (Shirdel và nnk, 2010)

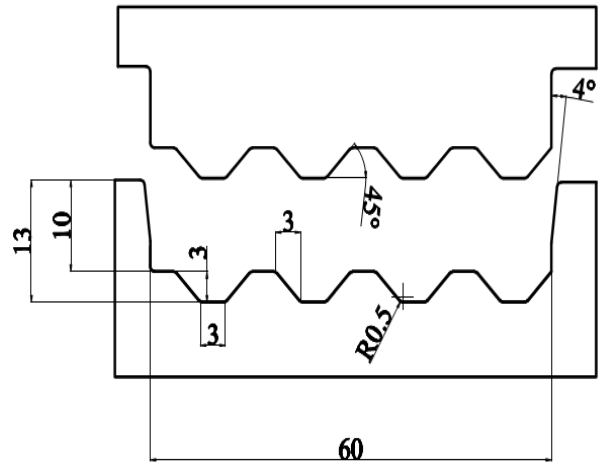
Độ bền kéo, Rm	1820 MPa
Độ bền dẻo, Rp 0,2	1520 MPa

2.2. Lựa chọn vật liệu làm khuôn

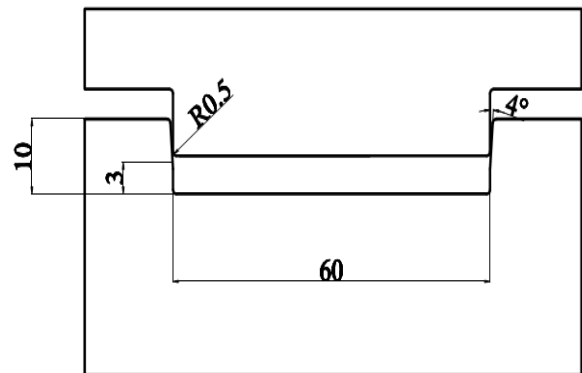
Do khuôn làm việc trong điều kiện chịu mài mòn do ma sát, áp lực ép lớn và nhiệt độ cao, ăn mòn không khí ẩm, hóa chất nên khuôn ép phải đáp ứng những yêu cầu kỹ thuật chủ yếu như: Độ cứng cao (khoảng 50 - 58HRC) ở nhiệt độ ép khoảng 300°C - 350°C, tính chống mài mòn cao, độ bền và độ dai cao. Với những yêu cầu kỹ thuật như vậy nên nhóm nghiên cứu lựa chọn vật liệu làm khuôn là thép SKD61 (Lê Trung Kiên và Lê Gia Bảo, 2016) có thành phần hóa học và cơ tính như Bảng 1 và Bảng 2.

2.3. Thiết kế kết cấu lòng khuôn

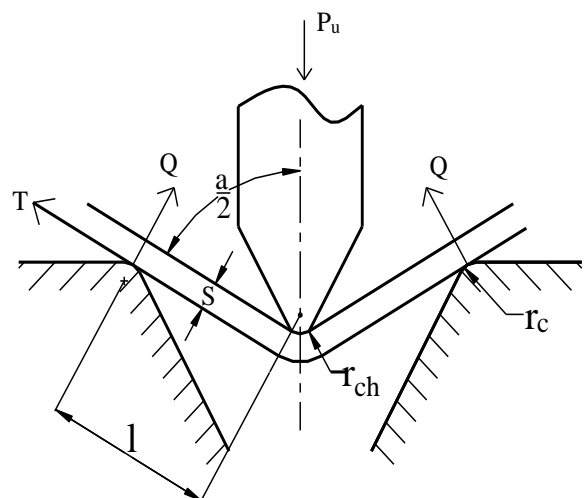
Phôi dùng để ép có kích thước 60x60x3mm. Do đó, kết cấu đối với cả hai khuôn đều có kích thước lòng khuôn bằng kích thước phôi 60 x 60mm, khe hở giữa khuôn trên và khuôn dưới bằng chiều dày của phôi 3mm, riêng với khuôn ép tạo hình, góc nghiêng giữa phần phẳng và phần nghiêng của khuôn ép tạo hình là $\theta = 45^\circ$. Khuôn ép được chế tạo với kích thước vùng làm việc trong lòng khuôn như Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Kích thước hình học của khuôn ép tạo hình



Hình 4. Kích thước hình học của khuôn ép phẳng



Hình 5. Sơ đồ uốn phôi

2.4. Tính lực cần thiết để biến dạng phôi và kiểm tra bền cho khuôn

Sơ đồ uốn phôi được thể hiện như Hình 5.

Trong đó:

P_u : Lực uốn, N.

Q: Phản lực tại cối, N

T: Lực ma sát giữa phôi và cối, N.

S: Độ dày phôi, m.

l: Độ dài cánh tay đòn, m.

r_{ch} : Bán kính đầu chày, m.

r_c : Bán kính mép cối, m.

Mô men cần thiết M để uốn phôi được xác định bằng tổng mô men sinh ra tại vùng kéo và vùng nén do các ứng suất tiếp sinh ra tại tâm uốn (Nguyễn Mậu Đăng, 2006).

$$M = \sigma_k \cdot \frac{b \cdot S^2}{4} = 1,5 \cdot W \cdot \sigma_k$$

Trong đó: S - Độ dày phôi, m; b - Bề rộng phôi, m; σ_k - Độ bền kéo của phôi, MPa;

W - Mômen chống uốn của phôi.

Phản lực tại cối:

$$Q = \frac{M}{l} = \sigma_k \cdot \frac{b \cdot S^2}{4 \cdot l} \quad (1)$$

Lực cần thiết để uốn:

$$P_u = 2 \left(Q \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cdot Q \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \\ = 2 \cdot Q \cdot \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (2)$$

Với μ : Hệ số ma sát giữa phôi và cối.

Xét sơ đồ uốn phôi với dạng khuôn như Hình

6.

Ta có: Chiều dài cánh tay đòn l:

$$l = (r_{ch} + r_c + Z) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

Với Z: Khe hở theo phương ngang giữa chày và cối.

Từ các phương trình (1), (2), (3) ta có:

Lực cần thiết để uốn đối với khuôn dạng này là:

$$P_u = 2 \cdot Q \cdot \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) = \\ \sigma_k \cdot \frac{b \cdot S^2}{2} \cdot \frac{(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cdot \cos \frac{\alpha}{2})}{(r_c + r_{ch} + Z) \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Với phôi ép là hợp kim AZ31, các thông số thuộc tính của hợp kim AZ31 như Bảng 3.

Với:

Độ bền kéo phôi hợp kim AZ31: $\sigma_b = 190 \text{MPa}$

Bề rộng phôi: $b = 60 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Độ dày của phôi: $S = 3 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Hệ số ma sát giữa phôi và khuôn: $\mu = 0,2$

Bán kính mép chày, cối: $r_c = r_{ch} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Khe hở theo phương ngang giữa chày và cối:
 $Z = 3 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Trường hợp 1: Khi $\frac{\alpha}{2} = 90^\circ$

$$\Rightarrow P_u = \sigma_k \cdot \frac{b \cdot S^2}{2} \cdot \frac{1}{(r_c + r_{ch} + Z)} = 12825 \text{N}$$

Trường hợp 2: Khi $\frac{\alpha}{2} = 45^\circ$

$$\Rightarrow P_u = \sigma_k \cdot \frac{b \cdot S^2}{2} \cdot \frac{(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cdot \cos \frac{\alpha}{2})}{(r_c + r_{ch} + Z) \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = 13081 \text{N}$$

Vậy lực uốn cực đại để uốn phôi là $P_u = 13081 \text{N}$.

Do phôi khi ép bị giữ cố định bởi các rãnh liền kề nên có thể coi phôi là bị chặn khi ép, theo (Lee and Park, 2002) ta có lực chặn phôi: $P_{ch} = (1,25 + 1,6) \cdot P_u$

Do đó, lực để uốn phôi khi có chặn là:

$$P = P_u + P_{ch} = P_u + 1,6 P_u = 2,6 P_u \\ = 2,6 \cdot 13081 = 34010 \text{N}$$

Tuy nhiên, khuôn ép là tập hợp của 5 rãnh liền tiếp nên có thể coi là tập hợp của 5 khuôn liền tiếp nên giá trị lực thực tế cần để uốn phôi là: $P_\Sigma = 5 \cdot P = 170050 \text{N}$.

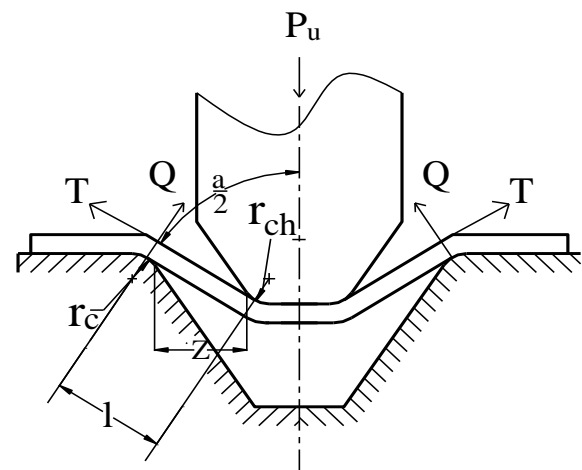
- Kiểm tra bền cho khuôn

Do khuôn chịu nén là chủ yếu nên: Ứng suất sinh ra trên khuôn khi chịu nén là

$$\sigma = \frac{P_\Sigma}{F} \quad \text{với } P_\Sigma - \text{Lực nén lên khuôn: } P_\Sigma = 170050 \cdot 10^{-6} \text{MN}$$

F: Diện tích tiết diện của khuôn: $F = 3600 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$

$\sigma = 47,236 \text{MPa} < [\sigma]$ (Bảng 2) \Rightarrow Khuôn đảm bảo độ bền nén.



Hình 6. Sơ đồ uốn phôi trên khuôn ép tạo hình

Bảng 3: Các thông số hợp kim AZ31

Đặc tính	Giá trị
Khối lượng riêng	1,77/cm ³
Độ bền kéo tới hạn	275MPa
Độ bền kéo chảy	190MPa
Mô đun đàn hồi	45GPa
Độ bền cắt tới hạn	495MPa
Hệ số Poisson	0,35

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả chế tạo khuôn và thực nghiệm ép phôi

Đã chế tạo được một bộ khuôn ép định hướng trên rãnh chu kỳ bằng phương pháp phay và mài trên máy CNC, khuôn làm việc ổn định. Gồm một khuôn ép tạo hình và một khuôn ép phẳng (Hình 7) đạt các thông số hình học như thiết kế, độ cứng của khuôn đạt 52HRC. Lòng khuôn và mặt phân khuôn được gia công đạt độ nhám $R_z = 1,25$. Dung sai các kích thước gia công là $\pm 0,02$, khuôn được làm cùn các cạnh sắc. Khuôn chịu được mài mòn do ma sát và hóa chất, đủ độ bền khi ép ở nhiệt độ cao và ổn định trong thời gian làm việc lâu dài. Bề mặt khuôn không bị xước, bong tróc, mẻ.

Phương pháp gia công yêu cầu phôi phải ép trong dải nhiệt độ 250 - 350°C, để đảm bảo nhiệt độ của phôi khi ép khuôn cũng cần phải được gia nhiệt, điều khiển và giữ nhiệt ổn định trong khoảng nhiệt độ 250-350°C. Do đó, khuôn được

lắp đặt thêm bộ gia nhiệt với công suất 700W sử dụng các thanh đốt $\varnothing 10$, $\varnothing 12$, nguồn điện 220V. Nhiệt độ của khuôn được điều khiển bởi cảm biến và role (Bùi Hải và Trần Thế Sơn, 2008).

Phôi được ép trên hai khuôn đạt các thông số về hình học như yêu cầu (Hình 8). Thiết kế góc nghiêng ($\theta = 45^\circ$) hợp lý nên sự phân bố biến dạng trên phôi rất đồng đều và chiều dày phôi trước, sau biến dạng không bị thay đổi. Bề mặt phôi sau ép tạo hình có sóng đều đặn.

3.2. Kết quả phân tích tổ chức tế vi và cỡ hạt của phôi trước và sau gia công

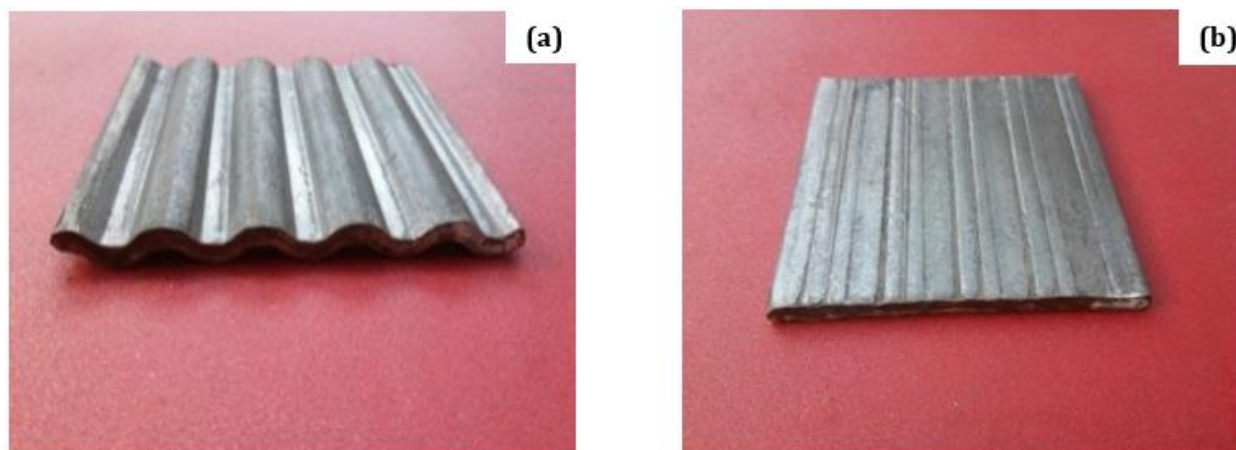
Để đánh giá sự thay đổi tổ chức hợp kim AZ31 trước và sau biến dạng, mẫu được mài trên giấy ráp từ cỡ hạt thô đến mịn (100 - 1500), sau đó được đánh bóng bằng máy với bột đánh bóng Al_2O_3 . Dung dịch tẩm thực là axit HNO_3 (3%)(Brandes, E. A., 1983) và tiến hành chụp tổ chức tế vi trên kính hiển vi quang học Leica DM2500M. Ảnh tổ chức hợp kim AZ31 trước khi ép và sau khi ép như Hình 9.

Có thể thấy, sau mỗi lần ép tổ chức tế vi của mẫu thay đổi, cỡ hạt nhỏ dần. Ở trạng thái ban đầu, tổ chức tế vi là các hạt thô với kích thước hạt trung bình vào khoảng $(45 \div 65)\mu m$. Sau lần ép thứ tư, các hạt đồng trục với kích thước tương đối đồng đều.

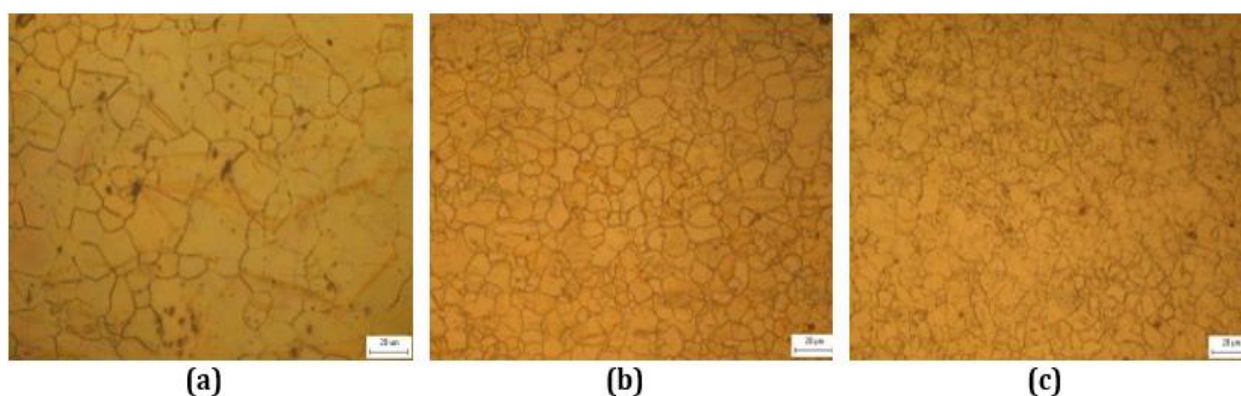
Cấp hạt cũng được xác định và sau lần ép này tăng lên cấp 8 - mức tăng đáng kể so với ban đầu là cấp 5. Hạt đồng trục với các góc biên hạt lớn làm cản trở sự chuyển động của lệch dẫn đến làm tăng độ bền và độ cứng của vật liệu, mức độ tăng tỷ lệ với số lần ép



Hình 7. Khuôn: (a) Tạo hình, (b) Ép phẳng



Hình 8. Phôi sau ép: (a) Tạo hình, (b) Là phẳng



Hình 9. Tổ chức tế vi AZ31: (a) ban đầu, (b) sau 4 lần ép, (c) sau 6 lần

4. Kết luận

Đã thiết kế và chế tạo thành công bộ khuôn ép dùng cho kỹ thuật ép định hướng trong rãnh chu kỳ. Lòng khuôn thiết kế cho phôi ép có kích thước 60x60x3mm, góc nghiêng của rãnh khuôn tạo hình $\theta = 45^\circ$. Khuôn làm việc ổn định, phôi đã được ép nhiều lần mà chưa có dấu hiệu phá hủy, tổ chức, cỡ hạt của phôi đã thay đổi đáng kể. Qua kết quả chế tạo khuôn và gia công phôi thấy rằng:

Các thông số hình học của khuôn phù hợp, đảm bảo sự biến dạng của phôi hiệu quả, số lần biến dạng nhiều mà phôi chưa bị phá hủy.

Chọn vật liệu làm khuôn SKD61 phù hợp, đảm bảo độ bền cho khuôn làm việc trong điều kiện lực ép lớn và nhiệt độ cao đến 350°C. Độ cứng bề mặt khuôn 52HRC, độ nhám lòng khuôn và bề mặt phân khuôn là $R_z = 1,25$, dung sai các kích thước gia công $\pm 0,02$. Khuôn thỏa mãn điều kiện làm việc chịu mài mòn, không bị mẻ và bong tróc.

Bộ gia nhiệt và điều khiển nhiệt của khuôn làm việc ổn định, thời gian gia nhiệt nhanh chóng, nhiệt độ điều khiển chính xác với sai số nhiệt trong phạm vi cho phép.

Tài liệu tham khảo

- Brandes, E.A., 1983. *Smithells Metals Reference Book* (Seventh Edition) Published by Butterworth & Co. Ltd.
- Bùi Hải và Trần Thế Sơn, 2008. *Kỹ thuật nhiệt*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật.
- Kazeminezhad, M., and Hosseini, E., 2011. Optimum groove pressing die design to achieve desirable severely plastic deformed sheets. *Mater Des* 2010 31:94-103.
- Khodabakhshi F, Kazeminezhad M., 2011. The effect of constrained groove pressing on grain size, dislocation density and electrical

- resistivity of low carbon steel. *Mater Des* 2011 32:3280-6.
- Lê Trung Kiên và Lê Gia Bảo, 2016. *Thiết kế và chế tạo khuôn dập*. Nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội.
- Lee, J., and Park, J., 2002. Numerical and experimental investigations of constrained groove pressing and rolling for grain refinement. *J Mater Process Technol* 2002 130-131:208-13.
- Nguyễn Mậu Đăng, 2006. *Công nghệ tạo hình kim loại tấm*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật.
- Shirdel, A., Khajeh, A., Moshksar, M.M., 2010. Experimental and finite element investigation of semi-constrained groove pressing process. *Mater Des* 2010 31: 946-50.
- Wang, Z.S., and và nnk, 2008. Influences of die structure on constrained groove pressing of commercially pure Ni sheets. *Journal of Materials Processing Technology* 215, 205-218.

ABSTRACT

Design, manufacture the forming dies to convert coarse grain of AZ31 magnesium alloy sheets into ultra-fine grain using severe plastic deformation method by constrained groove pressing process

Thuy Thi Pham¹, Thinh Quang Le¹, Hue Hong Thi Dang²

¹*Faculty of Electromechanics, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

²*Institute of Materials Science and Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam*

Recently, Severe Plastic Deformation (SPD) is being developed to convert coarse grain metal and alloys into ultrafine grained material, especially constrained groove pressing (CGP) method. The obtained grain size and mechanical properties are influenced by die's geometry, load, temperature and the times. In the paper, the authors concentrate on the geometries's role. Based on results, the authors designed and manufactured prototype CGP dies applied on AZ31 alloy. We also carried on AZ31 sample up to 6 times. This paper presents briefly the results the CGP dies and AZ31 sample's grain size.

Keywords: AZ31; SPD - Severe Plastic Deformation; CGP - Constrained Groove Pressing; microstructure.