ĐÚC HỢP KIM NHÔM ADC12 TRONG KHUÔN KIM LOẠI RUNG SIÊU ÂM

ALUMINUM ADC12 ALLOY CASTING IN ULTRASONIC METAL MOLDING

Bùi Anh Tuấn[1], Nguyễn Thanh Hải[2,3], Nguyễn Quốc Chí[2,3]

[1]Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng TP. Hồ Chí Minh (LTTC)

[2]Trường Đại học Bách khoa (HCMUT)

[3]Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (VNU-HCM)

TÓM TẮT

Đúc được xem như phương pháp phổ biến để tạo phôi nhôm thành phẩm. Đúc khuôn kim loại cho ra sản phẩm có chất lượng tốt, hình dáng phức tạp. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đưa ra mô hình thực nghiệm đúc hợp kim nhôm ADC12 với sự hỗ trợ của rung siêu âm trong thiết bị đúc bán tự động. Khối kim loại lỏng được tác động siêu âm từ phía dưới khuôn đúc. Kết quả thực nghiệm cho thấy, ảnh hưởng từ siêu âm giúp cải thiện khả năng điền đầy của kim loại lỏng vào khuôn đúc.

Từ khóa: *ADC12; Nguồn phát siêu âm; Khả năng điền đầy; Đúc khuôn kim loại.*

ABSTRACT

Casting process is widely used in the production of aluminum products. Good quality and complex shapes can be made by metal mold casting. This work presents the casting experiment of ADC12 alloy with ultrasonic vibration assistance in a semi-automatic casting eqquipment. The molten alloy is impacted by ultrasonic sonotrode from the bottom of metal mold. The experiment results show that abitily to filling of the molten alloy into mold is increased significantly.

Keywords: *ADC12; Ultrasonic generator; Filling ability; Metal mold casting.*

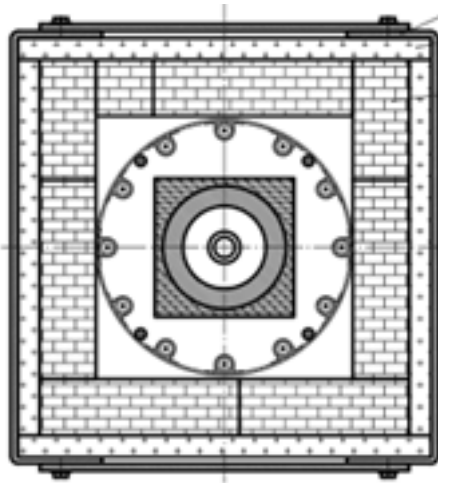
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhôm-silic là một trong các hợp kim của nhôm có ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp, với trọng lượng riêng nhỏ nhưng có độ bền cao cũng như khả năng chịu được ăn mòn trong hầu hết môi trường tự nhiên. Nhôm silic có tính đúc cao, độ chảy loãng cao, khả năng điền đầy khuôn lớn, độ nhẵn bề mặt cao thường được dùng để đúc các chi tiết có hình dạng phức tạp. Hàm lượng silic trong nhôm thường từ 9,5% đến 12% (theo khối lượng). Vật đúc có cơ tính tốt còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: sự hình thành và phân bố của cấu trúc hạt, đặc tính nguyên tử, các pha thứ cấp [1]. Ngoài ra, còn có những yếu tố làm ảnh hưởng đến chất lượng vật đúc như: sự không đồng nhất của môi trường vật đúc, sự phân bố giữa trường nhiệt độ và dòng chất lỏng trong quá trình hoá rắn, ứng suất bên trong của vật đúc [2]. Do đó, kỹ thuật sử dụng sóng siêu âm khi đúc kim loại đã được chú ý đến nhờ những ưu điểm của phương pháp này: khử khí trong vật đúc, thay đổi và làm mịn tổ chức hạt, giảm khuyết tật vật đúc [3]. Đối với đúc hợp kim nhôm có xử lý siêu âm, ảnh hưởng của trường siêu âm tới quá trình hình thành và phát triển hạt của vật đúc đang là một lĩnh vực được quan tâm hiện nay. Eskin đã có những nghiên cứu về sử dụng sóng siêu âm làm mịn hạt khi đúc kim loại màu từ những năm 1980 [4]. Zang Lihua sử dụng 2 đầu rung siêu âm khi đúc hợp kim nhôm 7050 [5]. Li Xiang và các cộng sự đã sử dụng tới 4 đầu rung siêu âm khi đúc hợp kim nhôm 2219 Al [6]. Bài báo này đưa ra một mô hình thực nghiệm đúc hợp kim nhôm ADC12 bằng thiết bị đúc bán tự động. Các thiết kế và tính toán cơ bản của thiết bị cũng được trình bày. Ngoài ra, vật mẫu sau khi đúc có tác động siêu âm và không có tác động siêu âm được thực nghiệm, so sánh và đánh giá dựa vào khả năng điền đầy.

2. TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ THIẾT BỊ ĐÚC

2.1. Các thông số đúc nhôm

- Vật liệu nung: Nhôm;
- Hệ số dẫn nhiệt nhôm: 203,5 (W/m°C);
- Nhiệt dung riêng: 880 (J/kg.K);
- Khối lượng riêng: 2,7 (g/cm^3);
- Khối lượng nhôm đem nung: m = 4 kg;
- Thể tích nhôm nấu: 1,48 l;
- Loại lò sử dụng: Lò điện trở.



Hình 1. Cấu tạo sơ bộ của lò

2.2. Tính toán nhiệt lượng cần thiết cung cấp cho lò nung

- Nhiệt lượng chi phí có ích:

$$Q_1 = P.C_p(t_2 - t_1)$$

$$= \frac{4}{30.60} 880(700 - 30) = 1310\ W$$

- Nhiệt lượng để tạo xỉ:

$$Q_2 = 0{,}05.Q_1 = 0{,}05.1310 = 65{,}5\ W$$

- Nhiệt lượng mất qua các thể xây lò:

ISSN 2615 - 9910
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 3 năm 2022
http://cokhivietnam.vn

$$Q_3 = \frac{t_1 - t_{kk}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}}.F$$

$$= \frac{700 - 30}{\frac{0,065}{1,11} + \frac{0,025}{0,045} + \frac{0,008}{52} + 0,05}.0,54 = 508\ W$$

Trong đó:

t_1: Nhiệt độ bên trong lò;

t_{kk}: Nhiệt độ không khí;

α_{kk}: Hệ số truyền nhiệt đối lưu từ mặt ngoài thể xây ra môi trường không khí và

$\frac{1}{\alpha_{kk}} = 0,05$;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$: Chiều dày lớp lót 1, 2, 3;

$\lambda_1, \lambda_2 \lambda_3$: Hệ số dẫn nhiệt các lớp lót 1, 2, 3;

F: Diện tích gạch xây trong lò.

Với:

Chiều dài lò L: 0,484 m;

Chiều rộng lò B: 0,476 m;

Chiều cao lò H: 0,281 m.

$$F = 2(L.H + B.H)$$
$$= 2(0,484 + 0,281 + 0,476.0,281)$$
$$= 0,540m^2$$

- Tổn thất nhiệt qua đáy lò:

Q_4=(0,15÷0,20)

Q_3 =(0,15÷0,20).508=101,6 W

- Tổn thất nhiệt do bức xạ qua cửa lò:

$$Q_5 = C_0\left(\frac{T_{lo}}{100}\right)^4.F.\varphi.\psi$$

$$= 5,7(\frac{973}{100})^4.0,196.0,7.0,7 = 4913\ W$$

Trong đó:

C_0: Hệ số bức xạ (C_0 = 5,7W/m^{2}K^4);

T_{lo}: Nhiệt độ trung bình của lò;

(Tl_o = 700 + 273 = 973^{0}K)

F: Diện tích phần cửa mở và khe hở

(F = π.0,25^2 = 0,196 m^2);

φ: Hệ số thời gian mở (φ = 0,7);

Ψ: Hệ số màng ngăn (Ψ = 0,7).

- Tổn thất nhiệt do ngắn mạch:

$$Q_6 = 0,25(Q_3 + Q_4 + Q_5)$$
$$= 0,25(508 + 101,6 + 4913)$$
$$= 1380,65\ W$$

- Công suất danh định:

$$P_{dđ} = K\frac{\sum Q_{thu}}{860} = 1,5\frac{8411}{860} \approx 14,67\ kW$$

$$\sum Q_{thu} = 1,016\sum Q_{chi} = 1,016.8278,55 \approx 8411\ W$$

2.3. Tính toán thanh điện trở

Thông số đầu vào:

- Công suất lò: P = 14,67 kW;
- Điện áp đầu vào: 220V, 1 pha;
- Số lượng ống điện trở dự kiến: 6;
- Vật liệu làm điện trở: Hợp kim $Cr_{20}Ni_{80}$.

Đường kính dây điện trở:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho.P^2}{\pi^2.w.U^2}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{4.1,27.10^{-6}(2,445.10^3)^2}{\pi^2 1,01.10^4.220^2}}$$

$$\approx 1,85.10^{-3}m = 1,85\ mm$$

Trong đó:

d: Đường kính dây điện trở;

ρ: Điện trở suất, Ωm; đối với hợp kim $Cr_{20}Ni_{80}$, ta tra được ρ = 1,27.10^{-6} Ωm.

P: Công suất điện trở,W;
w: Công suất riêng bề mặt, W/m^2;
U: Điện áp đầu vào, V.

Chiều dài dây điện trở:

$$l = \sqrt[3]{\frac{10.P.U^2}{4\pi\rho w^2}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{10.2{,}445.220^2}{4\pi 1{,}27.10^{-6}(1{,}01.10^4)^2}} \approx 8{,}99\ m$$

Để phù hợp với kích thước lò, cần chia nhỏ thanh điện trở thành 12 thanh, thông số được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số của thanh điện trở

Thông số	Giá trị
Đường kính dây điện trở	1 mm
Chiều dài dây điện trở	4,5 m
Đường kính thanh điện trở	20 mm
Bước xoắn lò xo	2
Số vòng xoắn	143 vòng
Chiều dài vòng xoắn điện trở	286 mm
Công suất	1,662 kW

2.4. Tính toán thông số động cơ

Thông số đầu vào:
- Tổng khối lượng lò: m = 400 kg;
- Dòng điện: 3 pha – 220V/50Hz;
- Số vòng quay làm việc: n = 3 vòng/phút;
- Moment xoắn cần để quay lò:

T_1 = m.g.L = 400.10.250 = 1000000Nmm

Trong đó:
L: Khoảng cách từ trục quay đến trọng tâm lò, mm;
g: Gia tốc trọng trường, m/s^2.

Moment xoắn cần thiết để đạt tốc độ 3 vòng/phút:

$$T_2 = J.\varepsilon = \frac{15{,}083.\pi}{10} = 4{,}74Nm = 4740\,\text{Nmm}$$

Trong đó:
J: Moment quán tính, kg.m^2;
ε: Gia tốc góc, rad/s^2.

$$J = \frac{1}{12}m.(a^2+b^2) = \frac{1}{12}.400.(50^2+45^2)$$
$$= 150833{,}33kg.cm^2 = 15{,}083kg.m^2$$

$$= \frac{\omega}{} = \frac{2\pi.3}{60.1} = \frac{\pi}{10}rad\quad s$$

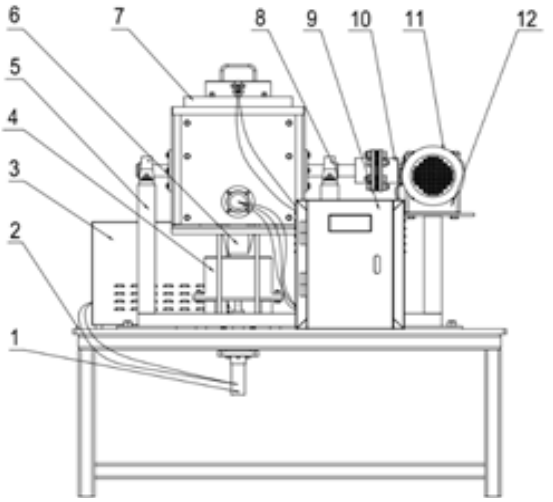
Công suất động cơ:

$$P = \frac{T.n}{9{,}55.10^6} = \frac{(100000+4740).3}{9{,}55.10^6} = 0{,}32kW$$

Dựa vào kết quả tính toán, công suất tối thiểu để lò hoạt động theo yêu cầu là 0,32 kW. Chọn động cơ giảm tốc SK 33100-80LP/4.

Bảng 2. Thông số động cơ

Thông số	Giá trị
Công suất	0,75 kW
Tốc độ động cơ	1415 vòng/phút
Moment xoắn	1255 Nm
Tốc độ đầu ra	3 vòng/phút
Tỉ số truyền	468,37
Kích thước trục đầu ra	45x90 mm



Hình 2. Thiết bị đúc khuôn kim loại siêu âm

Thiết bị (Hình 2), gồm: 1. Hệ siêu âm, 2. Bàn, 3. Nguồn phát siêu âm, 4. Khuôn đúc, 5. Khung thép đỡ lò, 6. Kênh rót kim loại, 7. Lò nung, 8. Ổ lăn, 9. Tủ điện điều khiển, 10. Nối trục, 11. Động cơ, 12. Hộp giảm tốc.

2.5. Tính toán hệ thống kênh dẫn kim loại vào khuôn

Đường kính kênh dẫn:

$$D = \frac{m^{1/2}.L^{1/4}}{3,7} = \frac{4000^{1/2}.400^{1/4}}{3,7} = 76,4mm$$

Trong đó:

m: Khối lượng kim loại cần nấu, g;

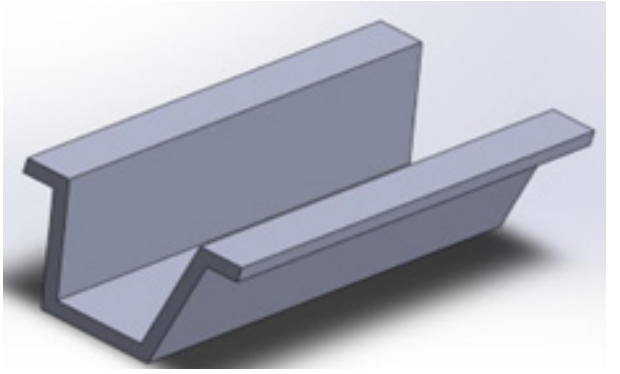
L: Chiều dài kênh dẫn kim loại, mm.

Chọn đường kính kênh dẫn kim loại bằng 76 mm.

Tiết diện kênh dẫn:

$$W = 1,25.D = 1,25.76 = 95mm$$

Chọn tiết diện kênh dẫn kim loại bằng 95 mm.

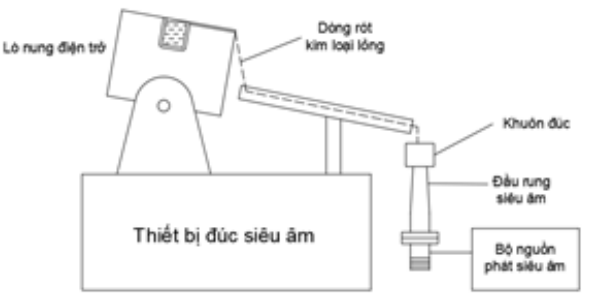


Hình 3. Mô hình kênh dẫn kim loại

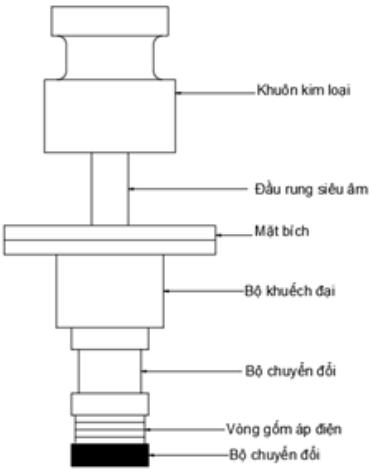
3. THỰC NGHIỆM

3.1. Mô hình thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm được tiến hành trên hệ thống thiết bị đúc siêu âm (Hình 2) như sau: các phôi nhôm thô Al-Si được cho vào cốc nung trong lò nung kim loại (Hình 4). Bộ điều khiển được nối với lò đúc để quay lò và đo nhiệt độ trong lò khi nấu chảy kim loại. Sau khi nấu chảy kim loại, kim loại lỏng theo kênh dẫn để rót vào khuôn. Đầu rung siêu âm (Hình 5) tạo ra rung động siêu âm tác động vào khuôn. Thiết bị đúc siêu âm thực tế (Hình 6). Nguồn phát siêu âm cung cấp điện áp và tần số cho bộ chuyển đổi. Bộ chuyển đổi truyền dao động cơ học đến bộ khuếch đại để khuếch đại biên độ sau đó truyền đến đầu rung siêu âm. Đầu rung này sẽ tác động siêu âm vào khuôn kim loại (Hình 7).

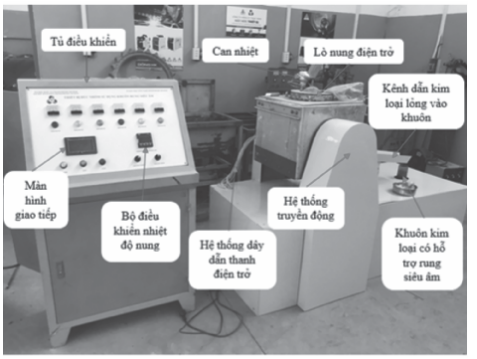


Hình 4. Sơ đồ thực nghiệm đúc siêu âm hợp kim nhôm ADC12

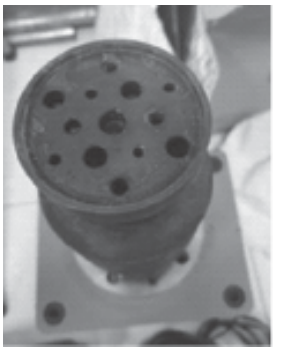


Hình 5. Cấu tạo đầu rung siêu âm dùng trong thử nghiệm

Nguồn phát siêu âm dùng trong thử nghiệm được phát với công suất 1500 W, tần số rung siêu âm 20 kHz. Đầu rung siêu âm được đặt phía dưới của khuôn kim loại. Đường kính khuôn đúc kim loại 86 mm.



Hình 6. Thiết bị đúc siêu âm dùng trong thử nghiệm



Hình 7. Khuôn kim loại có siêu âm

Tại thời điểm bắt đầu thực nghiệm, phôi nhôm thô Al-Si được đưa vào lò nung kim loại với khối lượng 200 g. Nhiệt độ nung chảy nhôm đạt 700°C, nhiệt độ rót nhôm lỏng vào khuôn kim loại từ 700°C - 680°C. Thực nghiệm trên hai mẫu thử, mẫu 1 không có tác động siêu âm, P = 0 trong suốt quá trình làm nguội và mẫu 2 có tác động siêu âm với P = 1500 W trong thời gian 4 giây sau khi rót nhôm lỏng vào khuôn kim loại.

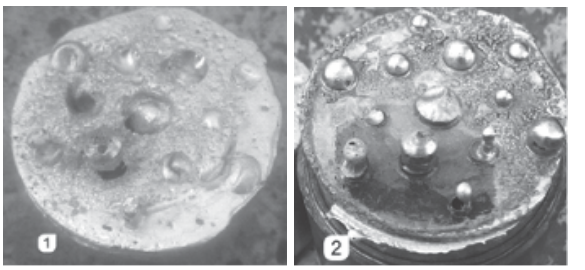
3.2. Thành phần vật liệu đúc

Vật liệu được sử dụng cho mẫu thực nghiệm là hợp kim nhôm ADC12 (Al-Si).

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Để so sánh ảnh hưởng và tác động của sóng siêu âm tới tổ chức tế vi và sự phân bố hạt của thỏi đúc, nhóm nghiên cứu tiến hành thực nghiệm với các thông số khi rót nhôm lỏng vào khuôn đúc. Mẫu thử số 1, không có tác động siêu âm (P = 0), mẫu thử số 2, có tác động siêu âm (P = 1500 W).

Thông số công nghệ: Công suất nguồn phát siêu âm P = 1500 W; Nhiệt độ lò nung từ 700°C đến 750°C; Thời gian rót kim loại lỏng vào khuôn: 5 s; Thời gian phát siêu âm: 4 s.



Hình 8. Mẫu thử nghiệm số 1, không có tác động siêu âm (P = 0), mẫu thử nghiệm số 2, có tác động siêu âm (P = 1500 W)

Sau khi các mẫu đúc hoá rắn và được

làm nguội. Lấy mẫu đúc rồi quan sát khả năng điền đầy của kim loại lỏng vào khuôn khi có tác động siêu âm và không có tác động siêu âm.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thành công hệ khuôn cho quá trình đúc khuôn kim loại có tác động siêu âm. Mẫu thử đúc bằng vật liệu hợp kim nhôm ADC12.

Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng dưới tác động của trường siêu âm, tổ chức kim loại lỏng có độ chảy loãng và phân tán tốt hơn, vì vậy mẫu đúc có khả năng điền đầy tốt hơn khi có tác động siêu âm.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Sở Khoa học - Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh với hợp đồng số 31/2020/HĐ-QPTKHCN.❖

Ngày nhận bài: **25/02/2022**
Ngày phản biện: **16/3/2022**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Y. Zhang, R.Q. Li, P.H. Chen, Y.L. Yang, X.Q. Li, R.P. Jiang, *Tuning the microstructure morphology and genetic mechanical properties of 2219 Al alloy with ultrasonic treatment*, J. Alloys Compd. 846 (2020) 156251.

[2]. PAN J, YOSHIDA M, SASAKI G. *Ultrasonic insert casting of aluminum alloy*, [J]. Scripta Materialia, 2000, 43(2): 155−159.

[3]. RAPPAZ M, GANDIN C A. *Probabilistic modeling of microstructure formation in solidification processes*, J. Acta Metall, 1993, 41(2): 345−360.

[4]. ESKIN G I. *Ultrasonic treatment of molten aluminum*, [M]. Moscow: Metallurgiya, 1985: 1−10.

[5]. ZHANG Li-hua, Y. Jun, Z. Xiao-ming, *Effect of ultrasonic power and casting speed on solidification structure of 7050 aluminum alloy ingot in ultrasonic field,* J. Cent. South Univ. Technol. (2010) 17: 431−436.

[6]. Li Zhang, X. Li, Z. Liu, R. Li, R. Jiang, S. Guan, B. Liu, *Scalable ultrasonic casting of large-scale 2219AA Al alloys: Experiment and simulation*, Materials Today Communications 27 (2021) 102329.

[7]. NGUYỄN THANH HẢI, P. H. Trí, L.T. Tùng, Đ.D. Quý, B.D. Khanh, *Design of metal casting mold for ADC 12 aluminium alloy with assistance of 20 kHz ultrasonic vibration*, School of Materials Science and Engineering.

[8]. A.Z.S.B.W.U. Astari Indarsari, *Characteristics Of Aluminium ADC12/SiC Composite with the Addition of TiB and Sr Modifier,* IC-AMME 2018, 2019.