

# Ảnh hưởng của nhiệt độ rót, chiều dày sơn và độ chân không đến khả năng điền đầy khuôn khi đúc hợp kim A356 theo công nghệ mẫu hóa khí

- Nguyễn Ngọc Hà
- Lê Quốc Phong
- Nguyễn Nhật Trí
- Lại Đình Hoài

Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bản nhận ngày 25 tháng 01 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 22 tháng 6 năm 2015)

## TÓM TẮT

Đúc trong khuôn mẫu hóa khí là phương pháp đúc được quan tâm rất nhiều hiện nay do có nhiều ưu điểm nổi bật. Không cần mặt phân khuôn nên giảm thiểu được sai lệch mặt, không sử dụng chất kết dính nên giảm được chi phí cho việc xử lý hỗn hợp làm khuôn và thân thiện với môi trường, quy trình sản xuất đơn giản, có thể đúc được những chi tiết phức tạp.

Trong nghiên cứu này, đã khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ rót, chiều dày lớp sơn

mẫu (thông qua thời gian nhúng sơn) và độ chân không đến khả năng điền đầy khuôn của vật đúc trong công nghệ đúc mẫu hóa khí. Hợp kim được sử dụng là hợp kim nhôm A356. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã xây dựng được phương trình hồi quy về ảnh hưởng của các thông số đúc nêu trên đến khả năng điền đầy khuôn. Kết quả cho thấy, nếu tăng nhiệt độ rót kim loại lỏng, tăng độ chân không, giảm thời gian nhúng mẫu thì sẽ thu được vật đúc có mức độ điền đầy cao hơn.

**Từ khóa:** đúc trong khuôn mẫu hóa khí; mẫu hóa khí; chất sơn mẫu

## 1. GIỚI THIỆU

Công nghệ đúc trong khuôn mẫu hóa khí có nhiều ưu điểm: cát làm khuôn không cần chất dính, có thể tạo lỗ, hốc cho vật đúc mà không cần ruột, vật đúc đạt độ chính xác cao do không có

mặt phân khuôn, ít ô nhiễm môi trường, ít tiêu hao vật liệu làm khuôn, thiết bị và công nghệ đơn giản ... Phương pháp đúc này đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt trong ngành công nghiệp ô tô.

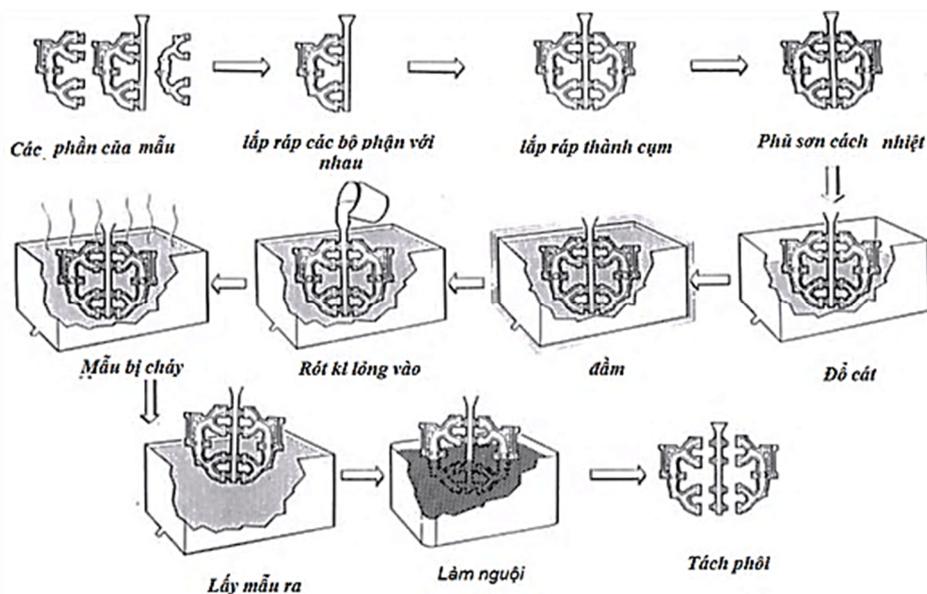
Các bước cơ bản trong công nghệ đúc trong khuôn mẫu hóa khí: 1) Chế tạo mẫu xốp bằng cách cắt hoặc ép tạo hình; 2) Ghép thành chùm mẫu; 3) Sơn mẫu; 4) Đặt mẫu vào khuôn, đổ cát và rung lên chặt; 5) Phủ màng mỏng bằng nhựa dẻo lên bề mặt khuôn; 6) Rót kim loại lỏng vào khuôn đồng thời hút chân không; dỡ khuôn và lấy vật đúc ra (hình 1).

Tuy nhiên đúc trong khuôn mẫu hóa khí có hai nhược điểm: vật đúc dễ bị cháy dính cát và khả năng điền đầy khuôn không cao.

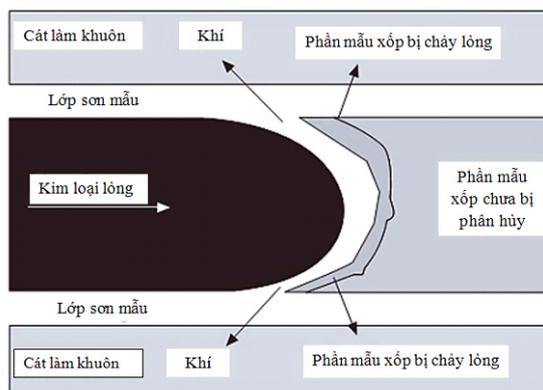
Hình 2 trình bày cơ chế thay thế kim loại lỏng/mẫu xốp trong quá trình rót khuôn [1]. Trong quá trình đúc nhôm, khi tiếp xúc với kim loại lỏng, xốp polystyrene phân hủy tạo thành các giọt lỏng nằm trên lớp sơn mẫu, sau đó, dưới tác dụng nhiệt, một phần trong chúng sẽ hóa khí và thoát ra ngoài qua lớp sơn mẫu. Nếu mức độ hút chân không không đủ, khả năng thẩm thấu của mẫu xốp có thể vượt quá khả năng thẩm thấu

của lớp sơn mẫu, điều này có thể dẫn đến: 1) Hình thành áp lực lớn trong hốc khuôn, cản trở việc điền đầy khuôn, thậm chí khi áp lực quá cao có thể dẫn đến hiện tượng phun trào; 2) Hình thành các nếp gấp trên bề mặt vật đúc; 3) Có thể tồn tại rỗ khí trong vật đúc. Ngược lại, nếu mức độ hút chân không quá lớn, kim loại lỏng sẽ thẩm thấu qua lớp sơn mẫu và gây nên hiện tượng cháy dính cát cơ học.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng điền đầy khuôn khi đúc bằng công nghệ mẫu hóa khí: cát làm khuôn và chế độ rung lên chặt, vật liệu làm mẫu xốp, khối lượng riêng của mẫu xốp, nhiệt độ rót, loại sơn và chiều dày lớp sơn mẫu, độ chân không ... Công trình này chỉ nghiên cứu ảnh hưởng của ba yếu tố (nhiệt độ rót, chiều dày lớp sơn, độ chân không) đến khả năng điền đầy khuôn khi đúc bằng công nghệ mẫu hóa khí cho hợp kim nhôm A356.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý đúc trong khuôn mẫu hóa khí



**Hình 2.** Tương tác giữa kim loại và khuôn

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Nguyên vật liệu

**Mẫu xốp:** Được chế tạo bằng xốp Polystyrene (EPS) theo phương pháp ép có khối lượng riêng  $30 \text{ kg/m}^3$ . Mẫu có dạng bậc với kích thước  $220 \times 80 \text{ mm}$ , chiều dày các bậc lần lượt là 20, 15, 10, 5, 3, 2 mm và được ký hiệu lần lượt là bậc 1, 2, 3, 4, 5 (hình 3) [2, 4].

**Cát làm khuôn:** Cát thạch anh đã qua tuyển có kí hiệu T1C0315A [5].

**Hỗn hợp chất sơn mẫu:** Công trình sử dụng chất sơn mẫu có thành phần rắn (theo khối lượng): 80% bột zircon silicat ( $\text{ZrSiO}_4 > 90\%$ , trên 75% hạt có kích thước  $< 45 \mu\text{m}$ , nguồn gốc: tuyển từ quặng titan Bình Thuận), 6% nhựa thông, 14 % sét bentonite natri (khoáng mônmôrilônít  $> 90\%$ , trên 60% hạt có kích thước

$< 10 \mu\text{m}$ , nguồn gốc: Bảo Lộc, Lâm Đồng); dung môi: cồn 96%; tỉ lệ lỏng : rắn = 1 : 0,35.

**Hợp kim đúc:** A356.

### 2.2. Trang thiết bị thí nghiệm

**Thiết bị rung:** P = 2 HP; biên độ rung: 1 mm; phương rung: đứng; tần số rung: 0 - 50 Hz; kích thước sàn rung:  $900 \times 600 \text{ mm}$ .

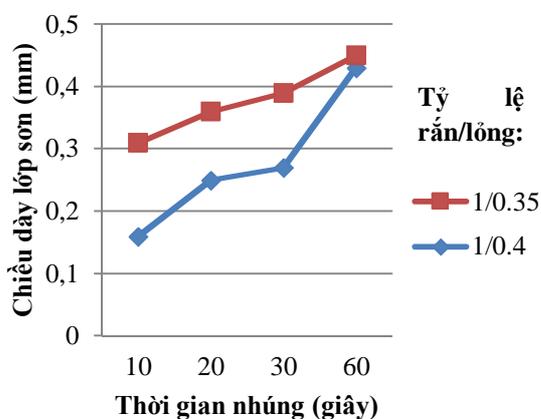
**Hệ thống cấp chân không:** P = 5 HP, Q =  $4 \text{ m}^3/\text{phút}$ ,  $p_{\text{max}} = -760 \text{ mmHg}$ ,  $V_{\text{tích}} = 0,8 \text{ m}^3$ .

**Hòm khuôn:** kích thước trong:  $320 \times 220 \times 300 \text{ mm}$ ; kích thước mắt lưới lọc cát: 0,05mm; số vị trí cấp chân không: 2.

**Các trang thiết bị, dụng cụ khác:** thiết bị khuấy sơn, thiết bị cắt mẫu xốp bằng dây điện trở, dụng cụ đo độ nhớt của sơn (dung tích: 100ml, đường kính lỗ thoát: 5mm), các bình đong, ống nghiệm, cân điện tử, ...



nhúng mẫu vào sơn. Hình 5 trình bày ảnh hưởng của thời gian nhúng mẫu và tỉ lệ rắn/lỏng của sơn lên chiều lớp sơn.



**Hình 5.** Ảnh hưởng của thời gian nhúng mẫu và tỉ lệ rắn/lỏng đến chiều dày lớp sơn

#### b) Phương pháp đánh giá mức độ điền đầy

Sử dụng mẫu bậc (hình 2) để đánh giá mức độ điền đầy khuôn. Số bậc mà kim loại lỏng điền đầy là:

$$\text{Số bậc} = n + \frac{m_{n+1}}{M_{n+1}} \quad (2)$$

Trong đó:  $n$  – số bậc đã được điền đầy đầy đủ;  $M_{n+1}$  – khối lượng đầy đủ của bậc  $n+1$ ;  $m_{n+1}$  – khối lượng kim loại được điền đầy thực tế ở bậc  $n+1$ .

#### c) Phương pháp làm khuôn và rót khuôn

Cho cát lót vào hòm khuôn; đặt mẫu lên lớp cát lót; vừa thêm cát vào và vừa tiến hành rung khuôn cho đến khi đầy cát trong hòm khuôn (thời gian rung: 90s, tần số rung: 40Hz, biên độ rung: 1mm [5]); phủ một tấm màng mỏng lên bề mặt khuôn; rót kim loại vào khuôn đồng thời với quá trình hút chân không (thời gian rót khuôn:  $10 \pm 1$

s); lấy vật đúc ra khỏi khuôn, làm sạch lớp sơn và tiến hành đánh giá.

#### d) Phương án quy hoạch thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm yếu tố toàn phần để xây dựng phương trình hồi quy (PTHQ) và đánh giá sự tương thích của PTHQ theo tiêu chuẩn Fisher.

Phương án thực nghiệm: thực nghiệm yếu tố toàn phần với  $k = 3$  (ba yếu tố ảnh hưởng: nhiệt độ rót -  $Z_1$ , chiều dày lớp sơn -  $Z_2$ , độ chân không -  $Z_3$ ),  $n = 2$  (hai mức độ - giá trị hai biên). Như vậy cần thực hiện  $N = 2^k = 2^3 = 8$  thí nghiệm; sau đó tiến hành thêm ba thí nghiệm ở tâm để tính  $S_{th}^2$  đánh giá sự tương thích thực nghiệm của PTHQ theo tiêu chuẩn Fisher. Tổng cộng thực hiện 11 thí nghiệm [6].

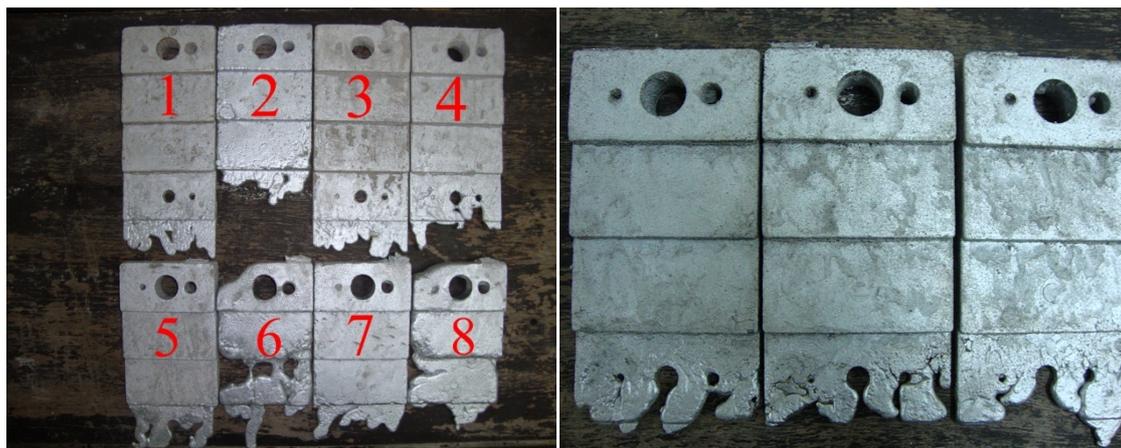
Để xác định khoảng khảo sát của các biến đầu vào bảo đảm vật đúc không bị cháy dính cát quá mức, đã tiến hành các thí nghiệm thăm dò. Từ kết quả các thí nghiệm thăm dò, giá trị các biến được chọn như sau:

- Nhiệt độ rót ( $Z_1$ ): giới hạn dưới: 670°C, giới hạn trên: 760°C, tâm: 715°C;
- Thời gian nhúng ( $Z_2$ ): giới hạn dưới: 20s, giới hạn trên: 50s, tâm: 35s;
- Độ chân không ( $Z_3$ ): giới hạn dưới: 0mmHg, giới hạn trên: 500mmHg, tâm: 250mmHg.

Hàm mục tiêu là khả năng điền đầy vật đúc Y (bậc).

#### 2.4. Kết quả thực nghiệm và xử lý kết quả thực nghiệm

Các kết quả thực nghiệm được trình bày ở bảng 1. Hình ảnh các vật đúc thực nghiệm được trình bày ở hình 6.



a) Tám mẫu ở biên

b) Ba mẫu ở tâm

Hình 6. Hình ảnh vật đúc

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm

ST T	Nhiệt độ rót ( $Z_1$ )	Thời gian nhúng ( $Z_2$ )	Độ chân không ( $Z_3$ )	Khối lượng (gam)	Điền đầy theo thực nghiệm (bậc)	Điền đầy theo PTHQ $Y_i$ (bậc)	Phần trăm sai số (%)
1	670	20	500	423.64	4.35	4.29125	1.350575
2	670	50	500	364.94	2.92	2.97875	2.011986
3	760	20	500	427.81	4.51	4.56875	1.302661
4	760	50	500	403.08	3.73	3.67125	1.57507
5	670	20	0	332.35	2.55	2.60875	2.303922
6	670	50	0	278.48	1.96	1.90125	2.99745
7	760	20	0	366.21	2.93	2.87125	2.00512
8	760	50	0	330.2	2.52	2.57875	2.33135
9	715	35	250	386.60	3.31	3.18376	3.81396
10	715	35	250	384.26	3.29	3.18376	3.22925
11	715	35	250	385.91	3.33	3.18376	4.39166

Từ các số liệu ở bảng 1, đã xây dựng được phương trình hồi quy thực nghiệm như sau:

$$Y = 3.1858796 - 0.000157407Z_1 - 0.126564815Z_2 + 0.003948333Z_3 + 0.000153704Z_1Z_2 + 3.33333 \times 10^{-7}Z_1Z_3 - 4.03333 \times 10^{-5}Z_2Z_3 \quad (3)$$

Kiểm tra theo tiêu chuẩn Fisher thì phương trình tìm được tương thích với thực nghiệm.

### 3. BÀN LUẬN CÁC KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Sai số giữa các kết quả nhận được theo PTHQ và thực nghiệm (bảng 1) là chấp nhận được (dưới 5%).

Từ PTHQ có thể xác định được các mối quan hệ định lượng giữa khả năng điền đầy khuôn với các biến tác động. Từ (3), xây dựng được đồ thị biểu thị ảnh hưởng của thời gian nhúng mẫu vào sơn và độ chân không (hình 7a, nhiệt độ rót 760°C), của nhiệt độ rót và độ chân không (hình 7b, thời gian nhúng mẫu vào sơn 50s), của nhiệt độ rót và thời gian nhúng mẫu vào sơn (hình 7c, độ chân không 500mmHg) đến khả năng điền đầy khuôn.

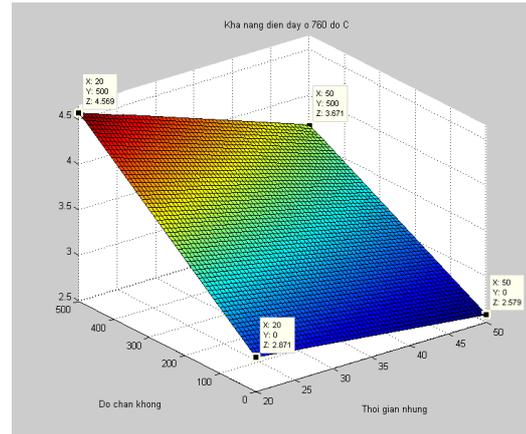
Trong khoảng khảo sát của các biến, các đồ thị trên cho thấy khả năng điền đầy khuôn đạt giá trị lớn nhất ở biên của các biến.

Khả năng điền đầy khuôn tăng khi tăng nhiệt độ rót, độ độ chân không và giảm thời gian nhúng mẫu vào sơn. Điều này cũng dễ lý giải: nhiệt độ rót cao làm tăng khả năng bù nhiệt mất do trao đổi nhiệt và độ linh động của kim loại lỏng cũng tăng, do đó mức độ điền đầy khuôn cũng tăng; thời gian nhúng mẫu tăng tương ứng với chiều dày lớp sơn tăng, điều này gây khó khăn cho việc thoát khí ra ngoài và lượng khí này sẽ tạo một trở lực làm giảm khả năng điền đầy khuôn; chân không càng sâu thì việc hút khí càng tốt, do đó làm tăng khả năng điền đầy khuôn. Tuy nhiên, quá trình thực nghiệm cũng cho thấy khi khả năng điền đầy khuôn tăng thì mức độ cháy dính cát cũng tăng.

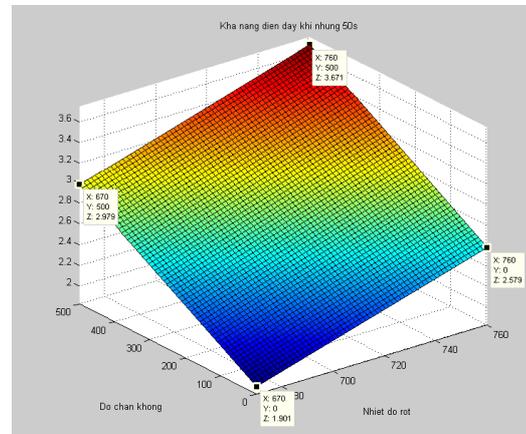
Từ độ dốc của mặt mục tiêu so với các biến trong khoảng khảo sát cho thấy độ chân không có ảnh hưởng mạnh nhất đến khả năng điền đầy; ảnh

hưởng của nhiệt độ rót và thời gian nhúng mẫu vào sơn (tác động ngược chiều nhau đến khả năng điền đầy) không chênh lệch nhau nhiều.

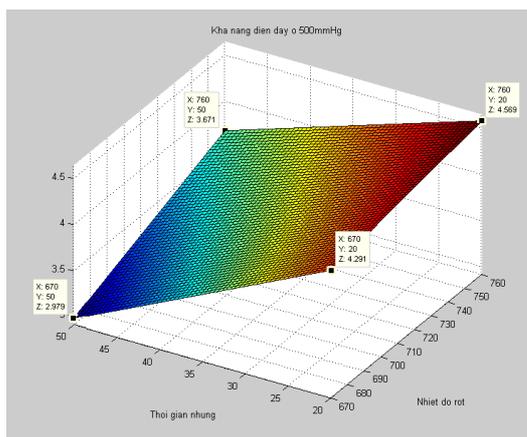
Có thể sử dụng PTHQ (3) để xác định sơ bộ các thông số đúc. Thí dụ, cần đúc vật đúc dạng bậc (hình 2), mong muốn điền đầy 4 bậc, chọn nhiệt độ rót  $x_1 = 750^\circ\text{C}$ , độ chân không  $x_3 = 500\text{mmHg}$ . Thay các giá trị  $x_1, x_3$  vào (3) với điều kiện  $Y = 4$ , nhận được  $x_2 = 36\text{s}$ .



a) Ảnh hưởng của thời gian nhúng mẫu và độ chân không đến khả năng điền đầy khuôn ở 760°C



b) Ảnh hưởng của nhiệt độ rót và độ chân không đến khả năng điền đầy khuôn ở thời gian nhúng mẫu 50s



c) Ảnh hưởng của nhiệt độ rót và thời gian nhúng mẫu đến khả năng điền đầy khuôn ở chân không 500mmHg

**Hình 7.** Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến khả năng điền đầy khuôn

Kiểm chứng bằng thực nghiệm với các giá trị  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  nêu trên, nhận được  $Y= 3,87$  (hình 8). Sai số tương đối giữa độ điền đầy theo thực nghiệm và theo phương trình hồi quy là 4,25%.



**Hình 8.** Thí nghiệm kiểm chứng

#### 4. KẾT LUẬN

Công trình đã nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của ba yếu tố (nhiệt độ rót, độ chân không, thời gian nhúng mẫu vào sơn) đến khả năng điền đầy khuôn khi đúc hợp kim A356 theo công nghệ khuôn mẫu hóa khí.

Với PTHQ tìm được từ thực nghiệm, cho phép đánh giá định lượng về ảnh hưởng của nhiệt độ rót, độ chân không, chiều dày sơn (thông qua thời gian nhúng mẫu) đến khả năng điền đầy khuôn. Nhiệt độ rót, độ chân không càng cao, thời gian nhúng mẫu vào sơn càng thấp thì khả năng điền đầy khuôn càng cao.

Từ PTHQ có thể xác định sơ bộ các thông số đúc cho những vật đúc có khối lượng và chiều dày thành không quá lớn.

PTHQ tìm được chỉ dành cho các chi tiết có dạng bậc. Nói như vậy không có nghĩa là với những chi tiết có hình dạng bất kỳ (được đúc bằng hợp kim A356) thì không thể tìm được thông số đúc. Có thể chuyển từ PTHQ theo dạng bậc sang PTHQ theo tỷ lệ F/V (F: tổng diện tích; V: thể tích) mà vẫn giữ nguyên được sự tương thích với thực nghiệm. Từ đó, chỉ cần tính F, V của chi tiết đúc kết hợp với PTHQ theo tỷ lệ F/V là có thể xác định được các thông số đúc hợp lý.

Với những hợp kim nhôm đúc khác có nhiệt độ nóng chảy và độ chảy loãng tương đương hợp kim A356 đều có thể sử dụng PTHQ để tìm thông số đúc phù hợp.

Cần có những nghiên cứu tiếp theo để xác lập ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến đồng thời khả năng điền đầy và mức độ cháy dính cát khi đúc trong khuôn mẫu hóa khí.

# Investigation of temperature, degree of vacuum, pattern coating thickness effects on mold filling in lost foam casting (LFC) process of A356 alloy

- Nguyen Ngoc Ha
- Le Quoc Phong
- Nguyen Nhat Tri
- Lai Dinh Hoai

Ho Chi Minh city University of Technology, VNU-HCM

## ABSTRACT

*Lost foam casting (LFC) process with outstanding advantages has been known as a new casting technique in foundry engineering. Especially, the operation restricts errors of a mould because of using expanded patterns without parting line being appropriate for the complex model. Great interest in this technology of the casting manufacturers is mainly lower, compared with the traditional process, investment outlays and production costs. The use of unbounded sand also reduces its treatment cost, more friendly and simple with the environment.*

*The study examines the simultaneous effects of pouring temperature, degree of vacuum, coating thickness (through dipping time) on mold filling in LFC. A356 aluminum alloy is used in this study. By using a full two-level factorial design of experimental technique to identify the significant manufacturing factors affecting the mold filling. Results of this investigation indicated that increasing pouring temperature, degree of vacuum and decreasing dipping time obtain casting with higher filling rate.*

**Keywords:** *Lost foam casting; Pattern coating*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Harry E. Littleton and John Griffin – *Manufacturing Advanced Engineered Components Using Lost Foam Casting Technology* - The Department of Energy, The American Foundry Society 21-24 (2011).
- [2]. A. Sharifi, M. Mansouri Hasan Abadi, *Investigation of gating parameters, temperature and density effects on mold filling in the lost foam casting (LFC) process by direct observation method*, Materials and Metallurgical Engineering Department, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran - Materials Engineering Department Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran, 162 (2012).
- [3]. Majid Karimiam, Ali Ourdjini, Mohd Hsbullah Idris, Hassan Jafari, *Effect of pattern coating thickness on characteristics of lost foam Al-Si-Cu alloy casting*, Elsevier, V.22, 2092 (2012).
- [4]. Phan Ngọc Lâm, *Nghiên cứu chất sơn mẫu dùng cho công nghệ đúc trong khuôn mẫu hóa khí*, LV cao học - ĐH Bách Khoa TP.HCM, (2013).
- [5]. Nguyễn Ngọc Hà , *Nghiên cứu công nghệ đúc chính xác trong khuôn màng mỏng - chân không*, Đề tài nghiên cứu Khoa học cấp Bộ, (2008).
- [6]. Nguyễn Cảnh, *Quy hoạch thực nghiệm*, NXB đại học Quốc gia TP. HCM, (2011).