

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH ĐÔNG ĐẶC VÀ TIẾT PHA CỦA HỆ HỢP KIM NHÔM A356.2 KHI ĐÚC

Nguyễn Văn Tư¹, Nguyễn Hồng Hải²

^{1,2)} Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt Hà Nội
nguyenvantu-fmmt@mail.hut.edu.vn, nhhai@mail.hut.edu.vn

Tóm tắt. Nghiên cứu này tập trung xác định các thông số công nghệ đúc của hợp kim nhôm A356.2. Ở điều kiện nguội chậm, hợp kim bắt đầu đông đặc ở nhiệt độ 625-626 °C và kết thúc đông đặc ở 550-563°C, Khi được nguội nhanh thì cả hai nhiệt độ trên đều giảm. Các nguyên tố hợp kim tập trung ở biên giới hạt tinh thể dưới dạng các pha liên kim và chi tiết ra khi được làm nguội chậm.

I. GIỚI THIỆU

Trong vài năm gần đây hợp kim nhôm đúc A356.2 (Al-7%Si-0,04%Cu-0,35%Mg-0,05%Mn -0,15%Ti) được sử dụng ngày càng nhiều để chế tạo các chi tiết máy dùng trong các phương tiện giao thông như ô tô, máy bay, tàu thủy... vì có ưu thế vượt trội về nhẹ và tính công nghệ tốt. Tuy vậy, chúng vẫn còn hạn chế cơ bản là độ bền không cao lắm. Để khắc phục nhược điểm này người ta đang từng bước áp dụng các công nghệ đúc mới như rheocasting và thixocasting thay thế cho các phương pháp đúc áp lực truyền thống. Việc xác định các thông số công nghệ đúc như nhiệt độ đường lỏng (liquidus) và nhiệt độ đường đặc (solidus), sự kết tinh và hình thành tổ chức ở các điều kiện khác nhau là điều cần thiết và là nội dung chính của nghiên cứu này.

II. THỰC NGHIỆM

Hợp kim nghiên cứu có thành phần tương ứng với mác A356.2 của Hoa kỳ:

Al-7%Si-0,04%Cu-0,35%Mg-0,05%Mn-0,15%Ti

Đây là một loại silumin phức tạp, ngoài Al và Si còn có các nguyên tố : Cu, Mg, Mn, Ti. Ngoài ra, còn có tạp chất Fe - luôn có mặt trong phối liệu nấu hợp kim cũng như thâm nhập vào trong quá trình nấu luyện.

Để khảo sát đường nguội của vật đúc trong khuôn, dây can nhiệt được gắn với khuôn và được kết nối với bộ phận nhận tín hiệu Temp Scan. Bộ ghi nhận tín hiệu: OMEGA TEMPSCAN 1100 có khả năng ghi nhận tín hiệu từ can nhiệt và truyền dữ liệu vào máy tính thông qua chương trình CHARTVIEW.

Tổ chức tế vi của hợp kim và sự phân bố nguyên tố được khảo sát trên kính hiển vi điện tử và kính hiển vi quang học Axiovert 100A. Nghiên cứu sự có mặt của các pha trong hợp kim bằng phương pháp nhiễu xạ tia X trên máy D5000 do hãng SIEMENS, CHLB Đức sản xuất.

Sử dụng máy phân tích nhiệt NETZSCH STA 409 PC/PG cho phép phân tích đồng thời DTA và TGA (nhiệt độ làm việc của máy từ -120 ÷ 1650°C, tốc độ nung nóng và làm nguội cho phép từ: (0.01 ÷ 50°C/s); khối lượng mẫu: 18000 mg

Giản đồ pha của hợp kim được xây dựng nhờ chương trình Thermocalc của các nhà khoa học Thụy Điển. Cơ sở dữ liệu được lấy theo ngân hàng dữ liệu nhiệt động học của khối thị trường chung Châu Âu (SSOL).

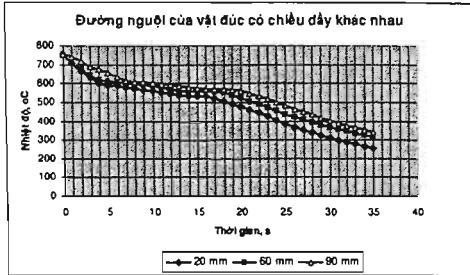
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Đường nguội

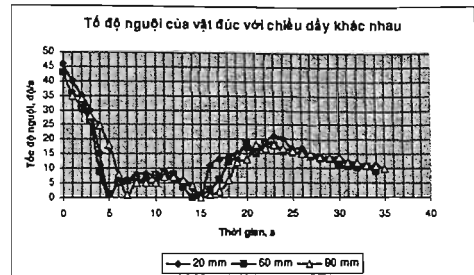
Đường nguội là thông số động học phản ánh bản chất của hợp kim (chủ yếu là nhiệt dung riêng, ẩn nhiệt động đặc) và khả năng trao đổi nhiệt giữa vật đúc và khuôn. Hợp kim có nhiệt

dung riêng, ẩn nhiệt đông đặc càng nhỏ và khả năng tản nhiệt từ vật đúc qua khuôn càng lớn thì vật đúc được làm nguội càng nhanh do đó kết quả nhận được vật đúc càng chắc đặc, hạt tinh thể càng nhỏ. Ngoài các yếu tố nêu trên, ta thấy tốc độ nguội của vật đúc còn phụ thuộc vào khối lượng và chiều dày thành vật đúc. Trong cùng loại khuôn, vật đúc có khối lượng và chiều dày thành càng lớn thì được làm nguội càng chậm. Đường nguội còn chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nữa như : Chiều dày thành khuôn đúc, áp lực trong quá trình kết tinh, sự khuấy trộn,... Trong nghiên cứu này chỉ trình bày một số yếu tố thường gặp.

Ảnh hưởng của chiều dày thành vật đúc (tốc độ nguội)



Hình 1. Đường nguội của mẫu có đường kính khác nhau trong cùng một loại khuôn



Hình 2. Tốc độ nguội của mẫu có đường kính khác nhau trong cùng một loại khuôn

Để xét ảnh hưởng của tốc độ nguội đến đường nguội của hợp kim A356.2 mẫu thử được đúc trong khuôn kim loại có đường kính khác nhau : $\Phi=20$, $\Phi=60$ và $\Phi=90$ mm. Kết quả đo đường nguội trình bày trên hình 1 và bảng 1.

Đường kính của mẫu thử nhỏ hơn thì tốc độ nguội lớn do đó nhiệt độ chảy (T_L) và nhiệt độ đông đặc (T_S) thấp hơn. Khoảng đông đặc của hợp kim (T_L-T_S) giảm khi tăng tốc độ nguội. Thời gian đông đặc của hợp kim tương ứng với các mẫu $\Phi=20$, $\Phi=60$ và $\Phi=90$ mm là 16, 18 và 20 giây. Mẫu thử càng nhỏ thì tốc độ nguội càng lớn do đó thời gian đông đặc càng ngắn. Qua hình 1 và hình 2 ta còn thấy tốc độ nguội cả 3 mẫu đều có đặc điểm chung là gồm 3 vùng:

- Vùng 1 - thời gian nhỏ hơn 5÷7 giây, khi rót kim loại lỏng ở nhiệt độ cao vào tiếp xúc với thành khuôn nguội, truyền nhiệt xảy ra rất nhanh do đó tốc độ nguội rất lớn (40 đến 50 °C/s). Tốc độ nguội giảm nhanh theo thời gian khi thành khuôn dần được nung nóng lên.
- Vùng 2 - thời gian từ giây thứ 5 đến giây thứ 15. Đây là vùng có tốc độ nguội nhỏ nhất và diễn biến phức tạp do chịu ảnh hưởng đồng thời của ẩn nhiệt kết tinh và nhiệt tỏa ra khi tiết các pha trung gian liên kim.
- Vùng 3 – vùng tốc độ nguội tăng dần do quá trình tiết pha ngày càng cạn kiệt. Sau khi tốc độ nguội đạt cực đại thì giảm đi nhanh chóng và tiến tới ổn định gắn liền với sự xuất hiện khe hở ngày càng tăng giữa vật đúc và khuôn.

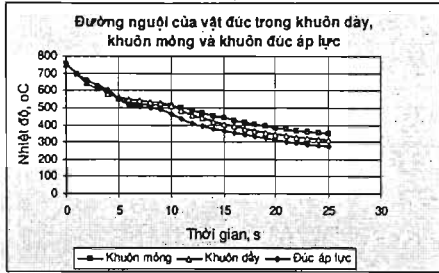
Vai trò của chiều dày thành khuôn

Đường nguội của vật đúc ở trong khuôn cũng phụ thuộc vào chiều dày khuôn (hình 3). Khuôn càng dày thì lượng nhiệt tích càng lớn do đó tốc độ nguội của vật đúc lớn hơn. Tuy nhiên, khi đúc với sản lượng lớn thì khuôn dày lại cản trở tốc độ nguội. Kết quả thực nghiệm được mô tả trên hình 3 và hình 4 cho thấy: dạng đường nguội và sự phân bố 3 vùng tốc độ nguội của vật đúc trong khuôn hoàn toàn tương tự như các trường hợp chung ở trên.

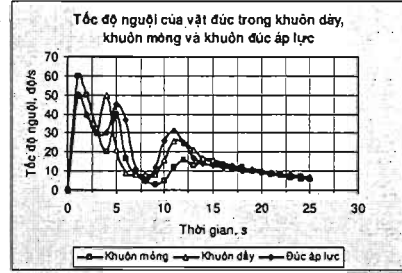
Vai trò của áp lực

Áp lực tác dụng vào kim loại trong quá trình kết tinh ngoài tác dụng làm cho vật đúc chắc đặc hơn, áp lực còn làm tăng tiếp xúc giữa vật đúc và thành khuôn, giảm thiểu khe hở giữa vật

đúc và khuôn do đó tốc nguội của vật đúc lớn hơn. Áp lực có ảnh hưởng quan trọng nhất là vào lúc kim loại đang đông đặc ở vùng 2 pha lỏng và rắn. Trên đồ thị hình 5 & 6 là khoảng thời gian từ 4 đến 6 giây. Lúc này áp lực không những bẻ gãy các tinh thể nhánh cây để nhận được tổ chức nhỏ mịn mà còn ép kim loại lỏng vào sâu giữa các nhánh cây, ép các nhánh cây xít lại với nhau kết quả ta nhận được kim loại chắc đặc và tổ chức hạt nhỏ. Áp lực, như nêu trên, còn làm cho vật đúc nguội nhanh hơn. Thời gian đông đặc khi có áp lực chỉ gói gọn trong khoảng 4 giây từ giây thứ 3 đến giây thứ 7. Trong khi đúc thông thường thời gian đông đặc có thể lên tới lên tới 15 đến 20 giây (đối với mẫu nghiên cứu).



Hình 3. Đường nguội của vật đúc trong khuôn dầy, khuôn mỏng và khuôn đúc áp



Hình 4. Tốc độ nguội của vật đúc trong khuôn dầy, khuôn mỏng và khuôn đúc áp lực

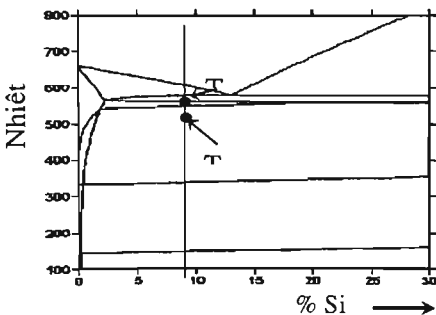
Vai trò của khuấy trộn

Các thí nghiệm cũng được tiến hành khuấy trộn để xét ảnh hưởng của khuấy trộn đến đường nguội. Hai trường hợp khảo sát là khuấy trộn cơ học và khuấy trộn từ. Khuấy cơ học tiến hành trước khi đổ vào khuôn để để làm tăng độ linh động của hợp kim ở vùng hai pha. Khuấy từ tiến hành trong khi đo đường nguội. Kết quả đo đường nguội không được trình bày ở đây.

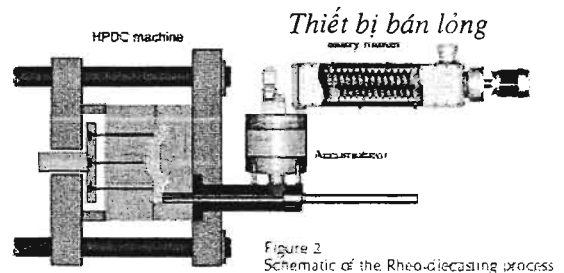
2. Đường lỏng và đường đặc

Kết quả xác định theo giản đồ pha

Giản đồ pha của hệ đa cấu tử bao gồm tất cả các nguyên tố có mặt trong hợp kim A356.2: $Al-7\%Si-0,04\%Cu-0,35\%Mg-0,05\%Mn-0,15\%Ti$. Giản đồ được biểu dưới dạng mặt cắt là giản đồ pha của hệ 2 cấu tử Al-Si với sự có mặt các nguyên tố hợp kim: Cu, Mg, Mn và Ti. Giản đồ pha được biểu thị trên hình 5. Từ giản đồ pha với trợ giúp của chương trình ta xác định được nhiệt độ bắt đầu và kết thúc đông đặc của hợp kim: $T_L=625$, $T_S=563$ °C và $\Delta T=62$ °C. Như đã nói trên, kết quả xác định bằng phương pháp giản đồ pha dựa trên điều kiện cân bằng rất thích hợp cho đúc rheocasting hoặc tạo bán thành phẩm dạng phôi cho công nghệ thixocasting (hình 6).



Hình 5. Giản đồ pha của hệ hợp kim 356.2



Hình 6. Máy đúc rheocasting một thiết bị tạo hợp kim bán lỏng

Kết quả xác định theo phương pháp đường cong nguội

Nhiệt độ T_L và T_S của hợp kim ở các điều kiện khác nhau ghi trong bảng 1. Ta nhận thấy khi được làm nguội càng nhanh thì nhiệt độ chảy (T_L) và nhiệt độ đông đặc (T_S) càng nhỏ và khoảng đông (T_L-T_S) càng hẹp. Bảng 1 còn chỉ ra tốc độ nguội trung bình ($V_{ngươi}$, độ/s) và thời gian đông đặc τ của hợp kim. Đúc áp lực ép thì tốc độ nguội rất lớn do đó thời gian đông đặc rất ngắn chỉ khoảng 4 giây.

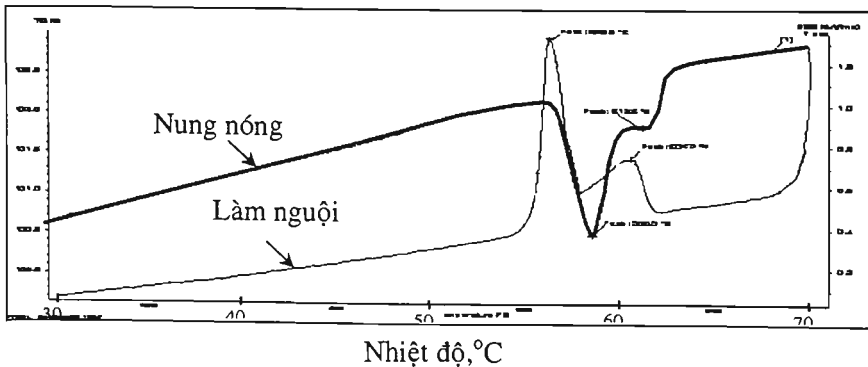
Bảng 1. Các thông số đông đặc của hợp kim

Điều kiện nguội	$T_S, ^\circ C$	$T_L, ^\circ C$	$\Delta T, ^\circ C$	τ, s	$V_{ngươi}, \text{độ/s}$
□20mm	530	587	57	16	24
□60mm	536	609	73	18	20
□90mm	544	618	74	20	19
Khuôn mỏng	550	625	75	25	16
Đúc áp lực	525	575	50	4	100
Cân bằng	563	625	62		

Khi đúc, khoảng đông của hợp kim (T_L-T_S) rất quan trọng nhưng không phải là yếu tố duy nhất quyết định chiều dày vùng hai pha δ trong vật đúc. Khi tăng tốc độ nguội thì cả T_L và T_S đều giảm nên (T_L-T_S) do đó ảnh hưởng không lớn đến khoảng đông δ mà là do gradient nhiệt độ trong vật đúc quyết định.

Kết quả xác định theo phương pháp nhiệt vi sai

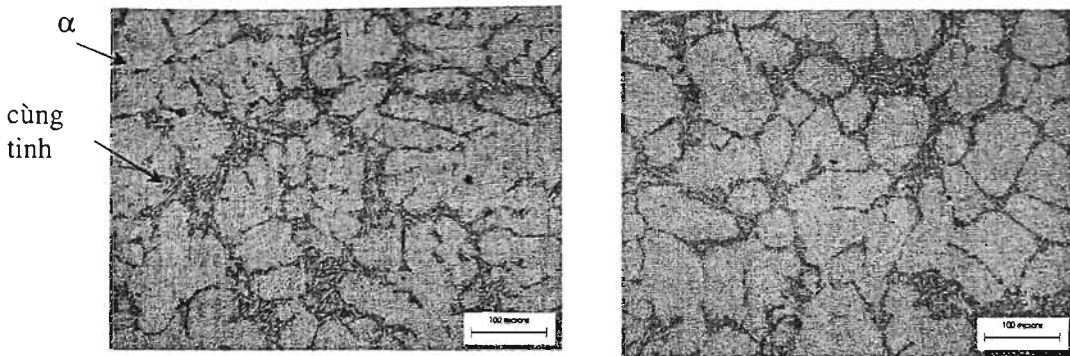
Trên hình 8 là kết quả phân tích DTA đường màu đỏ là khi nung nóng, khi nóng chảy thu nhiệt nên các pick đi xuống, và nhiệt độ bắt đầu xuất hiện pha lỏng là $T_S=566^\circ C$ và nhiệt độ đường lỏng là $T_L=626^\circ C$. Ta cũng xác định được khoảng nóng chảy $\Delta T=T_L-T_S=626-566=60^\circ C$. Ngược lại trong quá trình làm nguội thì các pick đi lên do ẩn nhiệt nóng chảy và tiết các pha liên kim toả ra. Ta cũng xác định được $T_L=610^\circ C$ và $T_S=550^\circ C$, và khoảng đông $\Delta T=T_L-T_S=610-550^\circ C=60^\circ C$



Hình 8. Đường nung nóng và làm nguội của hợp kim A356.2 qua phân tích nhiệt vi sai DTA

3. Tổ chức tế vi của hợp kim

Tổ chức của thỏi đúc từ trong tâm thỏi đúc ra ngoài gồm có các hạt tinh thể α và các kim Si trong cùng tinh nằm ở vùng biên giới hạt (hình 9).



Mẫu đúc Φ60 bên ngoài

Mẫu đúc Φ60 bên trong

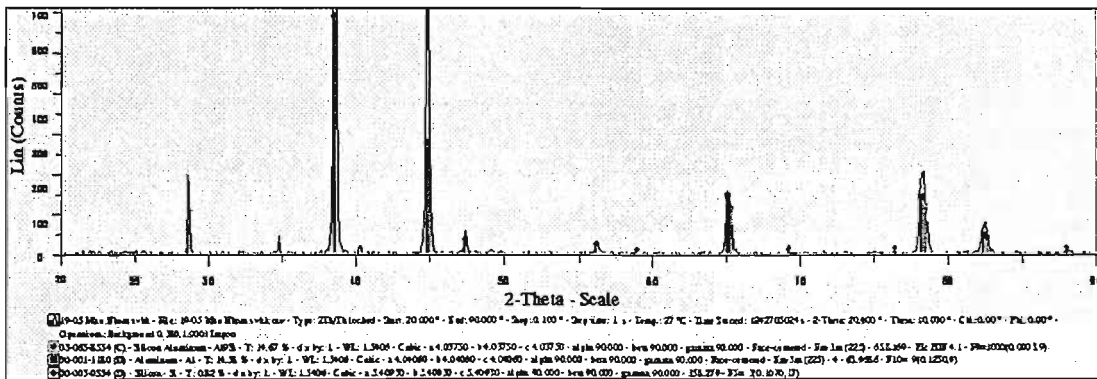
Hình 9. Tổ chức hợp kim sau đúc nguội ngoài không khí

So sánh tổ chức của thỏi đúc từ trong ra ngoài.

Từ hình 9 ta thấy tổ chức bên ngoài thỏi đúc do nguội nhanh hơn phần bên trong thỏi đúc nên các các tinh thể Si ở đây tiết ra nhỏ mịn hơn và nằm ở biên giới hạt α. Do được làm nguội nhanh (8-26°C) nên các pha liên kim chưa kịp tiết ra.

Kết quả phân tích tia X

Để khẳng định quá trình tiết pha khi đông đặc, mẫu sau đúc được phân tích xác định sự có mặt của các pha trong hợp kim. Kết quả phân tích xác nhận nhận sự có mặt của các pha: Al-α, Si, Al₉Si.



Hình 10. Kết quả phân tích X-ray

Theo giản đồ pha silumin phức tạp thì tổ chức ở trạng thái cân bằng gồm có: Al-α, Si, Mg₂Si, Si₂Ti, và một số pha phức tạp của Al-Fe-Si. Nhưng khi đúc làm nguội với tốc độ lớn (8-26°C/s), kết quả phân tích tia X không thấy xuất hiện các pha Mg₂Si và các pha hóa bền khác chứng tỏ làm nguội với tốc độ nhanh thì các pha liên kim và pha hóa bền này không kịp tiết ra.

Để khẳng định thêm nhận xét trên, mẫu được đem đi ủ (nung nóng trên điểm chuyển biến rồi làm nguội rất chậm cùng lò) sau đó đem phân tích tia X để biết thành phần pha. Kết quả đúng như ta dự kiến: sau khi đúc trong tổ chức chỉ gồm có pha α, Si, và pha Al₉Si, nhưng khi ủ thì tổ chức xuất hiện thêm các pha mới là các pha: Mg₂Si và pha phức tạp Al-Fe-Si.

Kết quả phân tích EDS

Phổ nhiễu xạ EDS của các nguyên tố ở các vị trí khác nhau cho thấy: các vùng bên trong hạt tinh thể đều xuất hiện các pick có chứa các nguyên tố hợp kim như Si, Mg, Cu, Ti, Fe... Ta

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Khắc Xương , Vật liệu kim loại màu, NXB khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, Tr 13, (2003).
2. Lê Công Dưỡng , Vật liệu học, NXB khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, (1996).
3. Nguyễn Hồng Hải , Cơ sở lý thuyết quá trình đông đặc và một số ứng dụng, NXB khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, (2006).
4. Lennar Backerud et al, Solidification characteristics of aluminium alloys, Volume 2, Foundry alloys, AFS/SKANALUMINIUM, (1990).