

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH TỐC ĐỘ NGUỘI, TỐC ĐỘ ĐÔNG ĐẶC VÀ TỶ PHẦN PHA RẮN CỦA HỢP KIM TRONG QUÁ TRÌNH ĐÚC BÁN LÔNG

Nguyễn Hồng Hải¹, Nguyễn Ngọc Tiên², Đỗ Minh Đức³

^{1,3}) Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt Hà Nội

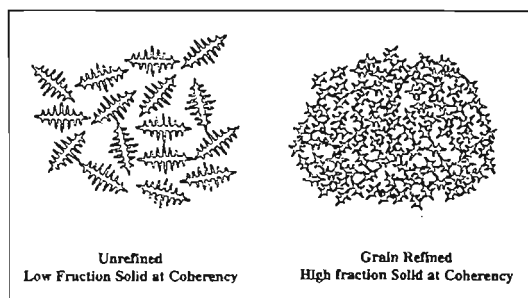
Email: nhhai@mail.bhut.edu.vn

²) Trường Cao đẳng Cơ khí - Luyện kim, Thái nguyên

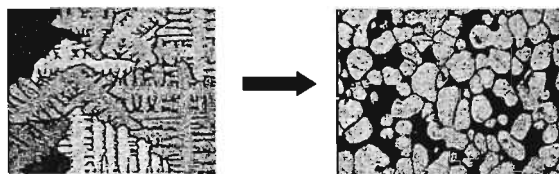
Tóm tắt. Đã đề xuất các phương pháp xác định các thông số quan trọng của quá trình đúc bán lông là tỷ phần pha rắn, tốc độ nguội và tốc độ đông đặc cho các trường hợp nguội chậm (đông đặc cân bằng và nguội nhanh (đông đặc không cân bằng)). Kết quả cho thấy khoảng nhiệt độ phù hợp để khuấy bán lông đối với hợp kim nhôm A356 là 590-600^o. Trong thời gian khuấy ăn nhiệt kết tinh toả ra mạnh nên nhiệt độ gần như không giảm, do đó có thể không sử dụng bộ gia nhiệt. Dưới tác dụng của áp lực quá trình đông đặc xảy ra nhanh hơn do quá trình truyền nhiệt thuận lợi hơn.

I. GIỚI THIỆU

Nhôm là kim loại rất quen thuộc trong đời sống và sinh hoạt của con người. Tuy vậy, về mặt lịch sử nhôm thuộc loại nguyên tố “trẻ”. Nhôm được tìm ra năm 1808. Công lao ấy thuộc về Davy. Nhờ các phản ứng hoá học ông đã tách được nguyên tố kim loại nhẹ, có màu sáng và gọi tên là Alumin. Trong các họ hợp kim nhôm thì hợp kim nhôm-silic còn gọi là silumin được dùng nhiều nhất, chiếm khoảng 50% số hợp kim đúc được dùng bởi có tỉ bền cao, trọng lượng riêng nhỏ, khả năng dẫn nhiệt tốt (151 ÷ 163 W/mK), giãn nở nhiệt nhỏ, chống ma sát tốt và chịu được nhiệt độ cao.



Hình 1. Làm nhỏ mịn tinh thể nhánh cây



Hình 2. Chuyển từ hình thái nhánh cây sang phi nhánh cây.

Để nâng cao các tính chất sử dụng của kim loại và hợp kim thì việc cải thiện tổ chức của hợp kim là bắt buộc. Một trong các xu hướng cải thiện tổ chức của hợp kim là tác dụng vào nền nhôm:

- Làm nhỏ mịn hạt tinh thể (hình 1) bằng các chất làm nhỏ mịn hạt (grain refiner) hoặc bằng cách tăng tốc độ nguội, song không làm thay đổi hình thái (nhánh cây) của tinh thể.
- Thay đổi hình thái tinh thể từ dạng nhánh cây (dendrite) sang dạng hạt cầu, hay còn gọi chung là phi nhánh cây (non-dendritic structure) – hình 2 – bằng cách xử lý ở trạng thái bán lông có kiểm soát chặt chẽ tốc độ nguội.

Vai trò của tốc độ nguội và tốc độ đông đặc trong việc hình thành tổ chức của kim loại và hợp kim.

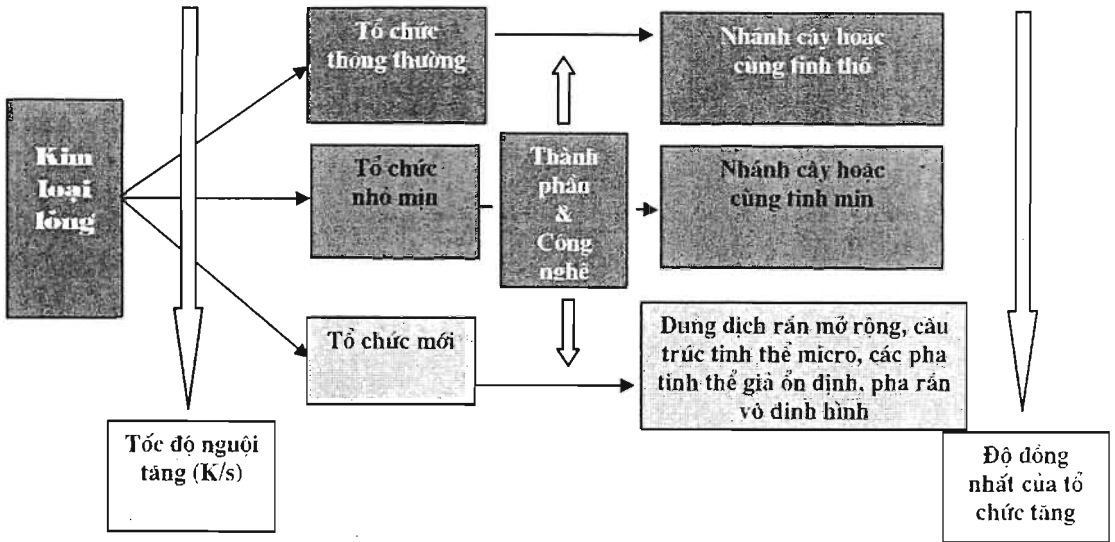
Có thể định nghĩa hai khái niệm này như sau : tốc độ nguội là tốc độ giảm nhiệt độ theo thời gian. Quá trình nguội chậm (cân bằng) có tốc độ nguội ~ 0. Quá trình nguội nhanh có tốc

độ nguội $\sim 10^6$ K/s. Tốc độ nguội được ký hiệu là dT/dt . Tốc độ đông đặc có liên quan tới tốc độ nguội (mặc dù trong một số quá trình chúng có thể được kiểm soát một cách độc lập) và có thể được định nghĩa theo những cách khác nhau :

- Là tốc độ dịch chuyển mặt kết tinh trong quá trình đông đặc có hướng, v [m/s]
- Là tốc độ tăng tỷ phần pha rắn theo thời gian, df_s/dt [%/s] hoặc theo sự giảm của nhiệt độ, df_s/dT [%/K) trong trường hợp đông đặc có hướng.

Nhìn chung tốc độ đông đặc tỷ lệ thuận với tốc độ nguội.

Theo chiều tăng của tốc độ nguội tổ chức của hợp kim có xu hướng thay đổi như trình bày trong hình 3.



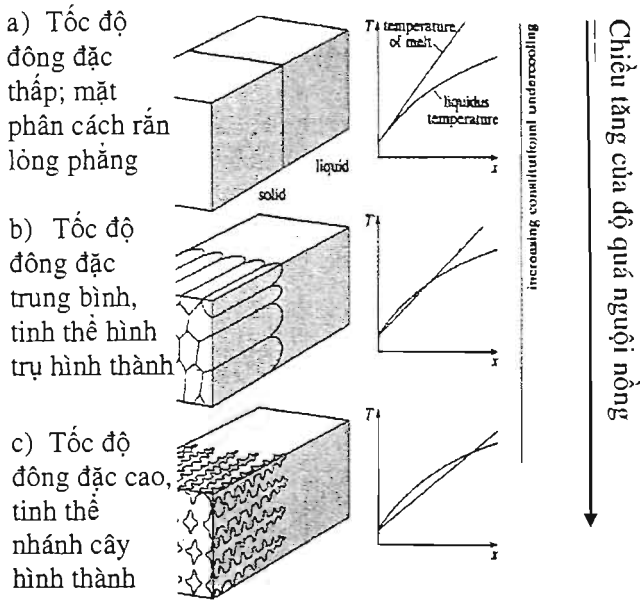
Hình 3. Sự thay đổi tổ chức theo chiều tăng của tốc độ nguội

Biểu thức mô tả quan hệ giữa tốc độ nguội, dT/dt , và tốc độ đông đặc, df_s/dT như sau:

$$\frac{dT}{dt} = \dot{T} = \frac{-q_e \left(\frac{A}{Vc_v} \right)}{1 - \left(\frac{\Delta h_f}{c_v} \right) \left(\frac{df_s}{dT} \right)} \quad (1)$$

Trong quá trình đông đặc do độ hoà tan trong pha rắn nhỏ hơn trong pha lỏng nên chất tan sẽ bị pha rắn thải ra và tích tụ tại mặt phân cách rắn lỏng Sự phân bố chất tan như vậy sẽ dẫn tới sự hình thành một vùng quá nguội nồng độ trong pha lỏng, chính là lực điều khiển quá trình hình thành tổ chức nhánh cây.

Tuy nhiên không phải lúc nào vùng quá nguội nồng độ cũng hình thành. Nếu giả thiết gradient nhiệt độ G trong pha lỏng là không đổi thì tùy thuộc vào đường nhiệt độ liquidus (tức là tùy thuộc vào tốc độ đông đặc như đã trình bày ở trên mà có thể (hoặc không) hình thành một vùng quá nguội nồng độ (hình 4). Như vậy có thể thấy rằng tốc độ nguội và tốc độ đông đặc là một yếu tố quan trọng tham gia vào sự hình thành tổ chức hợp kim.



Hình 4. Sự hình thành tổ chức theo chiều tăng của độ quá nguội nóng độ (hay tốc độ đông đặc) theo chiều mũi tên.

Phương pháp xác định tỷ phần pha rắn trong quá trình đông đặc

Đông đặc cân bằng

Quá trình đông đặc cân bằng xảy ra khi tốc độ nguội rất chậm, quá trình khuếch tán xảy ra hoàn toàn trong cả hai pha lỏng và rắn. Khi đó tỷ phần các pha rắn và lỏng (f_S và f_L , tương ứng) được tính theo quy tắc đòn bẩy cân bằng:

$$C_S f_S + C_L f_L = C_0 \quad (2)$$

trong đó C_S và C_L là nồng độ của pha rắn và pha lỏng tại nhiệt độ T , C_0 là nồng độ ban đầu của hợp kim (hình 5). Nếu thế $f_L = 1 - f_S$ vào phương trình 1, ta có:

$$f_S = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_S} \quad (3)$$

Đông đặc không cân bằng

Quá trình đông đặc cân bằng xảy ra khi tốc độ nguội nhanh, quá trình khuếch tán không có thời gian xảy ra trong pha rắn. Tỷ phần pha rắn khi đó được tính theo quy tắc đòn bẩy không cân bằng, hay còn gọi là phương trình Scheil:

$$C_S^* = k C_0 (1 - f_S)^{k-1} \quad (4)$$

trong đó C_S^* là nồng độ của pha rắn tại mặt phân cách rắn/lỏng. Do không có khuếch tán trong pha rắn nên đường solidus sẽ lệch khỏi trạng thái cân bằng (hình 6).

Trong thực tế tỷ phần pha rắn tại nhiệt độ T có thể được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \text{Nếu } T \geq T_L \text{ thì } f_S &= 0 \\ \text{Nếu } T_S < T < T_L \text{ thì } f_S &= (T_L - T) / (T_L - T_S) \\ \text{Nếu } T < T_S \text{ thì } f_S &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

II. THỰC NGHIỆM

Điều kiện nghiên cứu là hợp kim A356 có thành phần như trong bảng 1 và các tính chất nhiệt lý như sau:

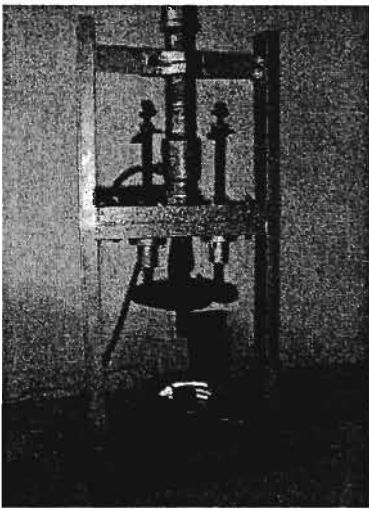
Nhiệt độ lỏng $T_L = 615^\circ\text{C}$, nhiệt độ đặc $T_S = 555^\circ\text{C}$, khối lượng riêng $2,685 \text{ g/cm}^3$.

Bảng 1 : Thành phần của hợp kim A356

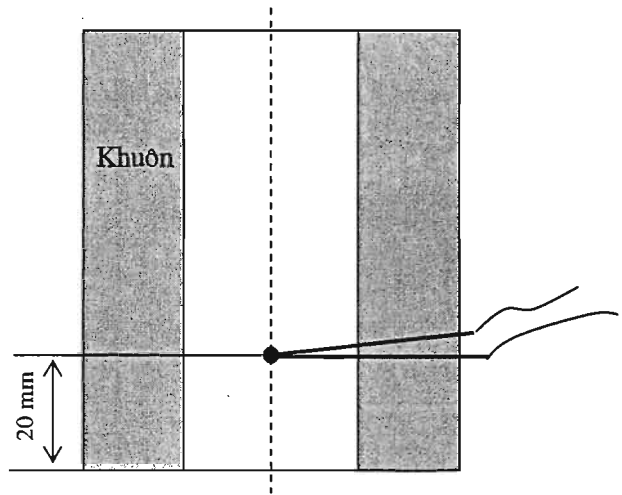
Nguyên tố	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Ti
%	≤ 0.2	0.25-0.45	≤ 0.1	6.5-7.5	≤ 0.2	≤ 0.1	≤ 0.2

Hợp kim được nấu lò điện trở của Đức, điều khiển nhiệt độ tự động. Khối lượng kim loại trong mỗi mẻ nấu là 3 kg. Trong quá trình nấu kim loại được che phủ bằng hỗn hợp muối (15% Na_3AlF_6 , 40% NaF, 45% NaCl) sau đó được thổi Ar trong 2 phút trước khi rót để khử khí. Sau đó kim loại được khuấy ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ đường lỏng bằng một thiết bị khuấy điện từ trước khi rót vào khuôn.

Khuôn dùng trong thí nghiệm



Hình 5. *Thiết bị dập áp lực*



Hình 6. *Sơ đồ bố trí cặp nhiệt*

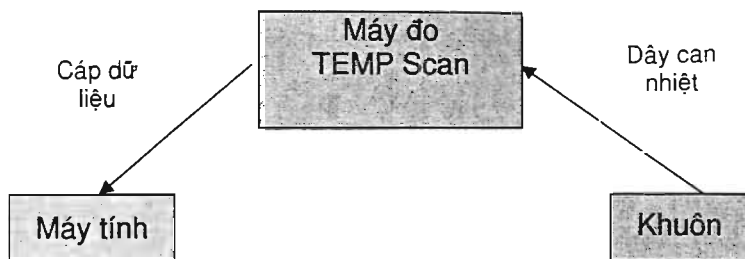
- Loại 1 dùng cho thí nghiệm nguội chậm được làm bằng inox, hình trụ $\phi 5 \times 30$ hờ 2 đầu. Tiết diện của khuôn là hình tròn sẽ giúp cho dòng kim loại lỏng trong ống chuyển động dễ dàng hơn so với các tiết diện hình vuông, hình chữ nhật. Trước khi rót kim loại lỏng vào khuôn, ta tiến hành nung khuôn lên nhiệt độ khoảng 300°C trong lò sấy, sau đó được đặt vào 1 cốc bao bên ngoài, cốc bao này có kích thước $\phi 70 \times 300$, giữa cốc bao và khuôn ở trong được chèn bông thủy tinh.
- Loại 2 dùng cho thí nghiệm với tốc độ nguội cao là khuôn bằng thép chịu nhiệt, đúc các mẫu kích thước $\phi 20 \times 200$ để thử cơ tính. Khuôn cũng được sấy ở các nhiệt độ khác nhau nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ nguội tới sự hình thành tổ chức và cơ tính. Khuôn loại 2 có thành dày khác nhau: loại thành mỏng dày 5 mm và loại thành dày 10 mm. Để nghiên cứu tác động của áp lực có thể dập dưới áp lực bằng thiết bị tự tạo (hình 5) dưới áp suất 5 atm. Sơ đồ bố trí cặp nhiệt được thể hiện ở hình 6.

Hệ thống ghi đo nhiệt độ kỹ thuật số

Sử dụng bộ thu 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. Việc đo và ghi nhiệt độ được trình bày ở sơ đồ dưới.

Thông qua thiết bị này có thể xác định được nhiệt độ kim loại lỏng tại từng thời điểm với bước thời gian có thể tới 0,1s một lần đo, từ nhiệt độ đo được có thể vẽ đường cong nguội chính xác, qua đó có thể tính được tốc độ nguội và tốc độ đông đặc.

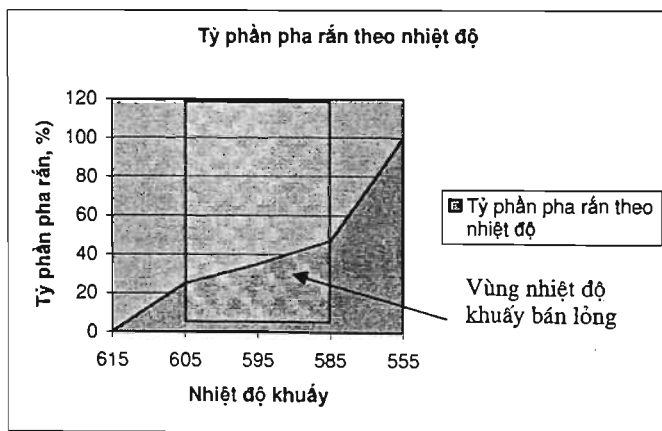
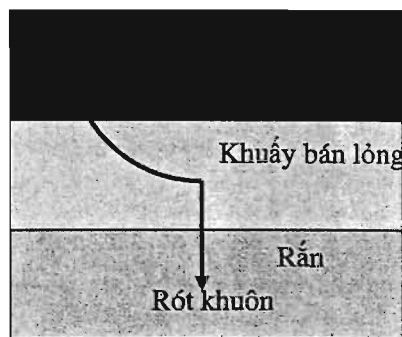
Mẫu (loại 1) sau khi đạt được trạng thái bán lỏng ở các nhiệt độ khác nhau được làm nguội theo các chế độ khác nhau: nguội tự nhiên trong không khí (nguội tự nhiên), nguội bằng cách thổi gió (nguội gió) và nguội trong nước (nguội nước).



III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tỷ phân pha rắn

Theo giản đồ pha và quy tắc đòn bẩy (trường hợp đông đặc cân bằng)



Hình 7. Chế độ nhiệt của quy trình đúc bán lỏng

Hình 8. Tỷ phân pha rắn của hợp kim A356 theo nhiệt độ trong trường hợp đông đặc cân bằng

Chế độ nhiệt của quy trình đúc bán lỏng được trình bày trên hình 7. Cần xác định khoảng nhiệt độ khuấy bán lỏng để đạt được tỷ phân pha rắn thích hợp trong công nghệ bán lỏng là từ 20 – 50 %. Theo quy trình công nghệ kim loại được nấu, khử khí trong lò (nhiệt độ khoảng 650⁰ C), sau đó được làm nguội cùng nồi khuấy đến nhiệt độ cần thiết nằm giữa T_{liq} và T_{sol} nên tốc độ nguội là rất chậm (~ 0,2⁰ /s), do đó có thể sử dụng giản đồ pha cân bằng và quy tắc đòn bẩy cân bằng.

Theo ASM (American Society of Metals) thì nhiệt độ liquidus và solidus của hợp kim A356 là: T_L = 615⁰ C, T_S = 577⁰ C. Theo pt (4):

- Tại nhiệt độ 605: $f_s = 25\%$
- Tại nhiệt độ 595: $f_s = 35\%$
- Tại nhiệt độ 585: $f_s = 47\%$.

Kết quả được trình bày trên hình 8. Như vậy nhiệt độ khuấy bán lỏng đối với hợp kim A356 có thể nằm trong khoảng 605 – 585^o C (hình 8).

Dùng DTA

Trong trường hợp tốc độ nguội cao hơn có thể dùng phương pháp DTA để xác định T_{liq} và T_{sol} của hợp kim (hình 9 – hợp kim A356, tốc độ nguội 25^o/phút).

Nhiệt độ đường lỏng: $T_l = 605,9^o C$.

Nhiệt độ đường đặc: $T_s = 548,7^o C$

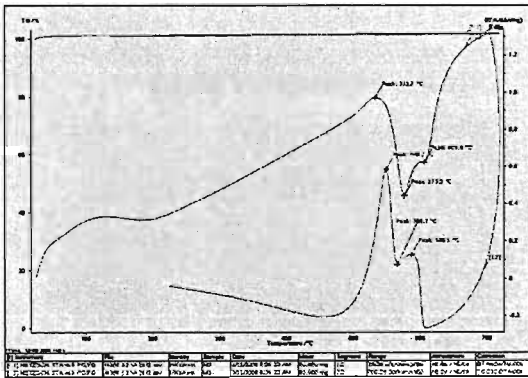
Trên cơ sở đó có thể tính được tỷ phần pha rắn theo phương trình 7. Kết quả được trình bày trên hình 10.

Như vậy vùng nhiệt độ khuấy bán lỏng có thể nằm trong khoảng 580 – 600^o C, ứng với tỷ phần pha rắn 20 – 50 %.

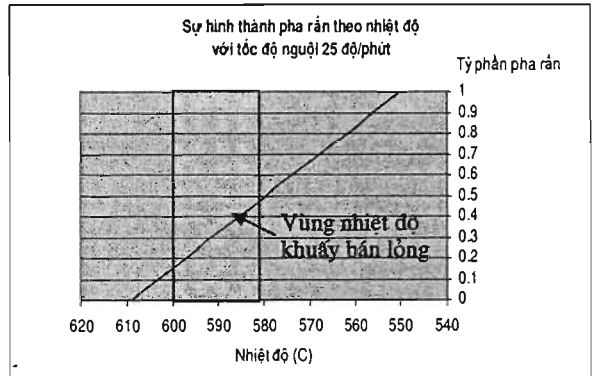
Đo nhiệt độ thực tế

Để xác định tỷ phần pha rắn theo thời gian có thể dùng phương pháp đo nhiệt độ thực tế. Việc đo nhiệt độ được thực hiện như đã trình bày ở phần 3. Kết quả đo trong trường hợp nguội giở (tốc độ nguội trung bình trong khoảng nhiệt độ kết tinh (615-555) là 0,12^o/s) được trình bày trong hình 11.

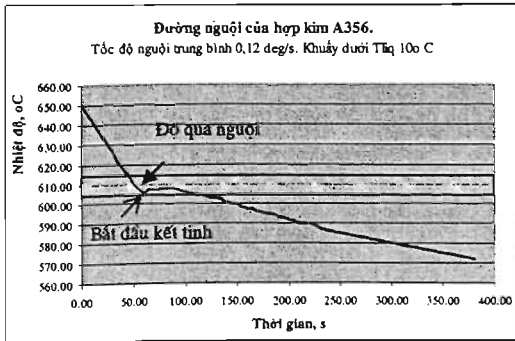
Tỷ phần pha rắn theo thời gian được trình bày trên hình 12.



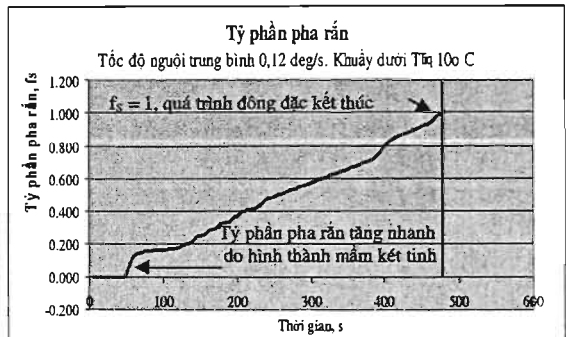
Hình 9. Kết quả phân tích nhiệt DTA



Hình 10. Tỷ phần pha rắn theo nhiệt độ. Tốc độ nguội 0,41^o/s



Hình 11. Đường nguội của hợp kim A356. Tốc độ nguội trung bình 0,12^o/s



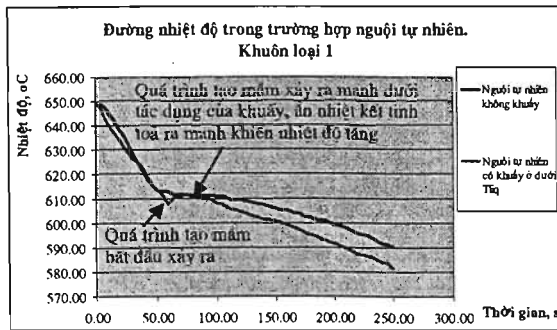
Hình 12. Tỷ phần pha rắn. Tốc độ nguội trung bình 0,12^o/s

Tốc độ nguội

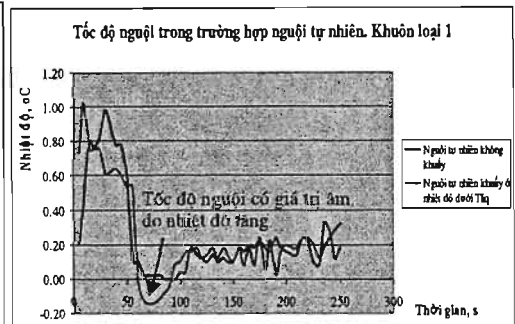
Trên hình 13 là kết quả đo nhiệt độ trong trường hợp nguội tự nhiên đối với khuôn loại 1. **Nhân xét:** Khi nhiệt độ cao hơn nhiệt độ đường lỏng ($T_{liq} = 615^{\circ}C$) các đường nguội gần trùng nhau do chưa có tác động khuấy. Khi có tác động của khuấy các đường nguội cho thấy có sự khác biệt: ở các mẫu có khuấy dưới sự tác động của lực từ, các nhánh cây bị bẻ gãy tạo nhiều tâm mầm kết tinh, tỏa nhiệt kết tinh lớn làm tăng nhiệt độ của mẫu thí nghiệm (mũi tên trên hình). Với mẫu không khuấy thì sự tỏa nhiệt kết tinh do sự tạo ra các pha mới không đáng kể nên nhiệt độ hầu như không tăng, đường cong nguội không có sự thay đổi về độ dốc. Trong trường hợp có khuấy (ở dưới nhiệt độ đường lỏng) độ quá nguội đạt được sâu hơn, mầm bắt đầu hình thành ở khoảng $608^{\circ}C$, rất nhiều mầm được hình thành làm cho nhiệt độ tăng khoảng 3° do ẩn nhiệt kết tinh tỏa ra mãnh liệt (điều này không qua sát thấy trong trường hợp không khuấy), quá trình đông đặc xảy ra nhanh hơn (nhiệt độ giảm nhanh hơn). Tốc độ nguội được tính như đạo hàm của nhiệt độ theo thời gian, dT/dt , bằng phần mềm Excel. Kết quả trình bày ở hình 14.

Nhân xét. Tốc độ nguội cực đại ($\sim 1^{\circ}/s$) đạt được khi kim loại đang bị quá nhiệt và bắt đầu tiếp xúc với khuôn nguội, sau đó giảm dần do khuôn bị nóng lên. Khi mầm kết tinh được hình thành, do ẩn nhiệt kết tinh tỏa ra mạnh trong trường hợp có khuấy nên nhiệt độ tăng, tốc độ nguội thậm chí có giá trị âm. Trong trường hợp không khuấy tốc độ tạo mầm chậm hơn song cũng làm cho tốc độ nguội giảm xuống bằng 0. Sau khi quá trình tạo mầm kết thúc, tốc độ nguội tăng lên đôi chút (trung bình $0,2^{\circ}/s$ trong trường hợp có khuấy và $0,16^{\circ}/s$ trong trường hợp không khuấy).

Các số liệu đo đặc nhiệt độ và tính toán tốc độ nguội cho các trường hợp khác được cho trong phụ lục .



Hình 13. Kết quả đo nhiệt độ trong trường hợp nguội tự nhiên, khuôn loại 1



Hình 14. Tốc độ nguội trong trường hợp nguội tự nhiên, khuôn loại 1

Tốc độ đông đặc

Theo dõi đồ pha và quy tắc đòn bẩy (trường hợp đông đặc cân bằng)

Như đã trình bày ở trên, tốc độ đông đặc được coi là tốc độ tăng tỉ phần pha rắn theo thời gian df_s/dt , hoặc theo nhiệt độ, df_s/dT . Ở đây sử dụng định nghĩa thứ nhất.

Như đã trình bày ở trên, tỷ phần pha rắn, f_s , được xác định như sau:

- Nếu $T \geq T_L$ thì $f_s = 0$
- Nếu $T_s < T < T_L$ thì $f_s = (T_L - T)/(T_L - T_s)$

- Nếu $T \leq T_S$ thì $f_s = 1$

Trong trường hợp nguội chậm (tốc độ nguội trung bình $< 0,2^{\circ}\text{C}$) các giá trị T_L và T_S có thể lấy theo giản đồ pha (đối với hợp kim A356, $T_L = 615^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ đặc $T_S = 555^{\circ}\text{C}$).

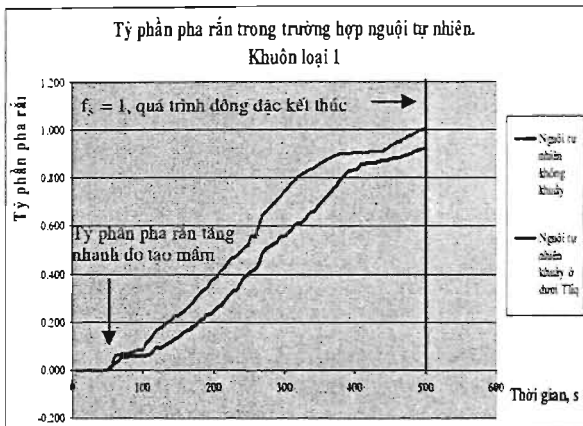
Kết quả tính tỷ phần pha rắn cho trường hợp nguội tự nhiên được trình bày trên hình 15.

Nhân xét: Quá trình đông đặc kết thúc ($f_s = 1$) sau 500 s trong trường hợp có khuấy, (trong trường hợp không khuấy tỷ phần pha rắn mới đạt ~ 96%). Như vậy tốc độ đông đặc đạt được là $0,2\%/s$ (rất chậm).

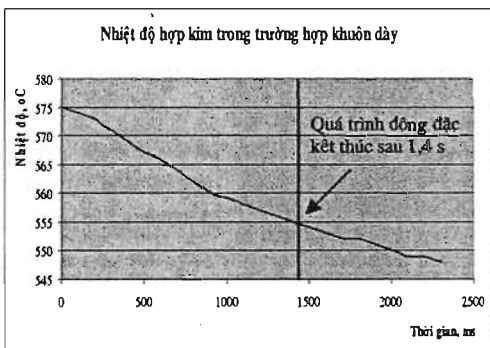
Theo kết quả đo (tốc độ nguội cao, đông đặc không cân bằng)

Kết quả đo nhiệt độ trong khuôn dày được trình bày trên hình 16. Có thể thấy rằng quá trình đông đặc xảy ra rất nhanh (1,4 s). Tốc độ nguội trong giai đoạn này là $14^{\circ}/s$, gấp khoảng 70 lần so với trường hợp khuôn loại 1. Tốc độ đông đặc đạt $71\%/s$, cao hơn rất nhiều so với trường hợp khuôn 1 ($0,2\%/s$).

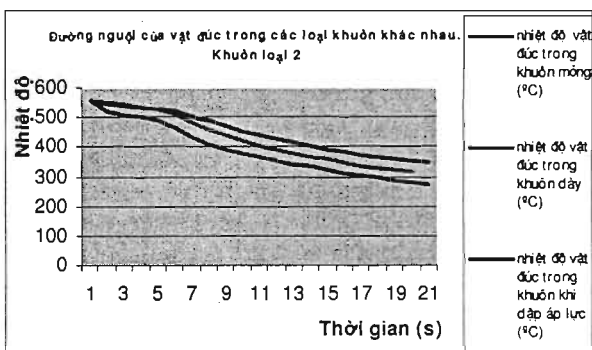
Trên hình 17 là đường nguội của hợp kim trong các loại khuôn khác nhau, có và không có áp lực.



Hình 15. Tỷ phần pha rắn trong trường hợp nguội tự nhiên, khuôn loại 1

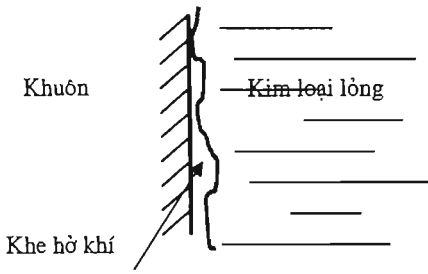


Hình 16. Đường nhiệt độ trong trường hợp khuôn dày, đúc bôn lông

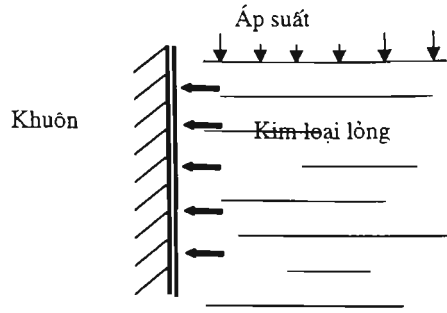


Hình 17. Đường nguội của vật đúc trong các loại khuôn khác nhau, khuôn loại 2

Có thể thấy rằng hợp kim nguội nhanh nhất trong trường hợp có tác động của áp lực. Điều này có thể được giải thích như sau: bình thường nếu không chịu tác dụng của áp lực thì khi kim loại đông đặc sẽ co lại làm hình thành khe hở khí (hình 18), sự tiếp xúc trực tiếp giữa vật đúc với thành khuôn không còn nữa kết quả là làm giảm sự trao đổi nhiệt giữa vật đúc và khuôn giảm đi do đó tốc độ nguội giảm. Khi đập áp lực khe hở khí không hình thành do kim loại lỏng bị “ép” vào thành khuôn (hình 19) thời gian tiếp xúc trực tiếp giữa vật đúc với thành khuôn tăng lên do đó làm cho tốc độ nguội tăng.

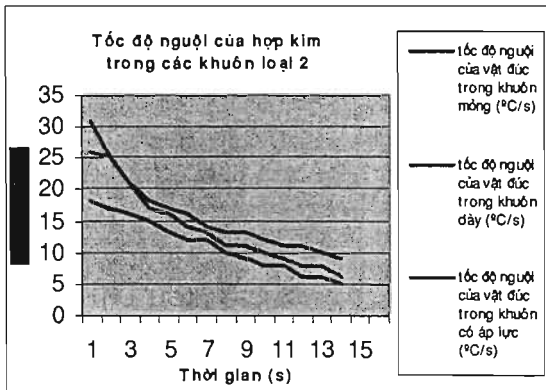
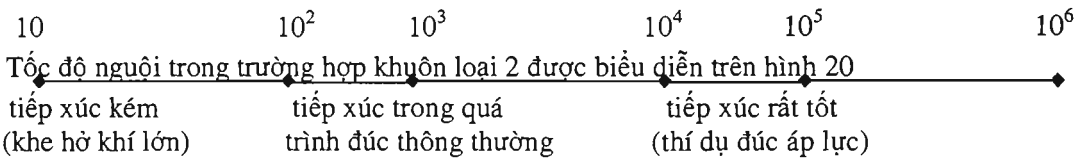


Hình 18. Khe hở khí giữa lớp vỏ kim loại và thành khuôn

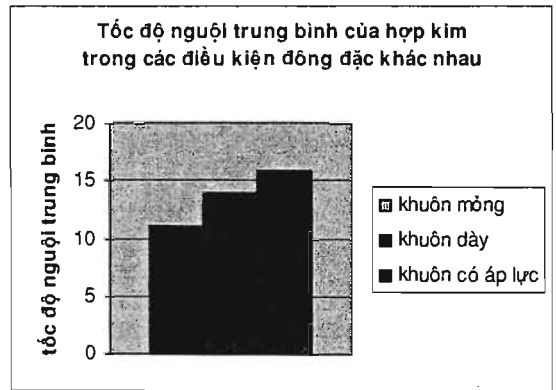


Hình 19. Khe hở khí không hình thành trong trường hợp có áp lực

Về mặt vật lý hệ số truyền nhiệt α (W/m^2K) có thể được coi là hiệu quả dẫn nhiệt của khe hở khí. Giá trị của nó như sau:

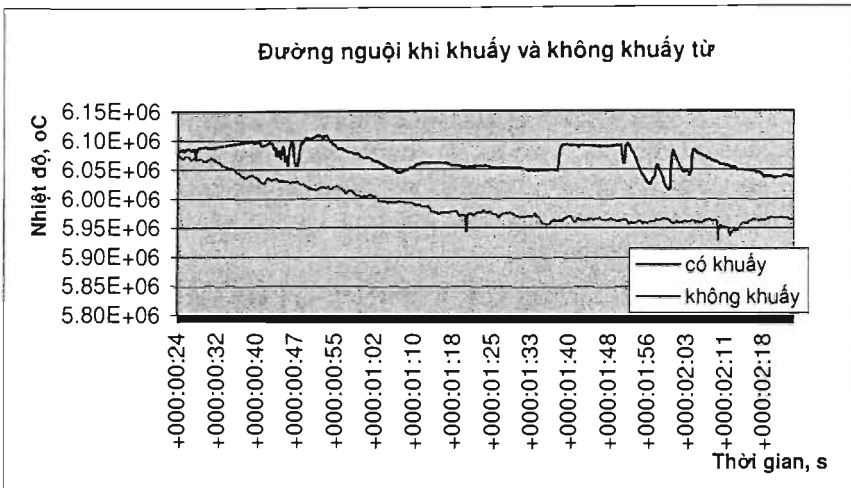


Hình 20. Tốc độ nguội của hợp kim trong khuôn loại 2



Hình 21. Tốc độ nguội trung bình trong các điều kiện đông đặc khác nhau

Nhận xét: Cũng giống như trường hợp đường nguội, tốc độ nguội trong trường hợp có tác dụng của áp lực sẽ là nhanh nhất (trung bình $\sim 16^0/s$). Tốc độ nguội trung bình trong trường hợp không có áp lực là $14^0/s$ và $11^0/s$ đối với khuôn thành dày và thành mỏng, tương ứng (hình 21). Một điều đáng lưu ý khi so sánh đường nhiệt độ của kim loại được xử lý ở trạng thái bán lỏng (khuấy từ) và không xử lý là khi khuấy từ thì nhiệt độ giảm rất chậm (khoảng $0,06^{\circ}C/s$), thậm chí còn có sự tăng nhiệt độ, còn khi không khuấy từ thì nhiệt độ gần như giảm liên tục (độ chênh nhiệt độ trong hai trường hợp này là khoảng $7 - 8^0$ (hình 22).



Hình 22. Đường nguội của kim loại khi khuấy và không khuấy

Điều này có thể được giải thích như sau: khi khuấy dưới sự tác động của lực từ, các nhánh cây bị bẻ gãy tạo nhiều tâm mầm kết tinh, toả nhiệt kết tinh lớn làm tăng nhiệt độ của mẫu hoặc ít nhất cũng làm nhiệt độ mẫu không thay đổi. Việc toả ẩn nhiệt kết tinh mạnh làm tăng nhiệt độ kim loại được gọi là “sự cháy sáng lại” (recalescence), hay còn gọi là “phản ứng nhiệt nhôm” cũng đã được đề cập đến trong một số tài liệu về quá trình kết tinh và đông đặc [16]. Trong trường hợp không khuấy sự toả nhiệt kết tinh do sự tạo ra các pha mới không đáng kể nên nhiệt độ hầu như không tăng.

Một nguyên nhân khác khiến nhiệt độ không giảm khi có khuấy từ là do chuyển động tương đối giữa các lớp kim loại gây ma sát toả nhiệt song không lớn. Tuy nhiên điều này cần được kiểm chứng

IV. KẾT LUẬN

- Căn cứ vào kết quả tính tỷ phần pha rắn cho hợp kim A356 ở các tốc độ nguội khác nhau bằng các phương pháp khác nhau ta có thể chọn vùng nhiệt độ nghiên cứu như sau:
 - Vùng 1: 610- 600 độ C (gần đường lỏng) tương đương $f_s=16\%$
 - Vùng 2: 600-590 độ C tương đương $f_s=33\%$
 - Vùng 3: 590-580 độ C tương đương $f_s=49\%$
- Tốc độ nguội trong thời gian khuấy là rất nhỏ ($<0,2^0/s$), do đó có thể sử dụng giản đồ pha cân bằng để tính tỷ phần pha rắn ở giai đoạn này.
- Nhiệt độ kim loại trong thời gian khuấy gần như không đổi do khuấy làm đồng đều nhiệt độ trong toàn bộ khối kim loại lỏng và ẩn nhiệt kết tinh toả ra mạnh. Thời gian khuấy ngắn nên có thể không cần sử dụng bộ gia nhiệt.
- Tốc độ nguội trong khuôn kim loại khá cao (11 – 16⁰/s) tùy thuộc chiều dày thành khuôn. Trong trường hợp có tác dụng của áp lực (5 atm) tốc độ nguội sẽ cao hơn do khe hở khí không hình thành hoặc hình thành muộn hơn và chiều rộng nhỏ hơn. Nếu đúc áp lực (khuôn rất dày và áp lực rất lớn) thì tốc độ nguội chắc chắn sẽ cao hơn rất nhiều, dẫn đến tổ chức đạt được sẽ nhỏ mịn.

Lời cảm ơn

Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về tài chính của Chương trình nhà nước KC.02/06-10.

Tài liệu tham khảo

1. Toshio Haga , P. Kapranos. Simple Rheocasting processes. Journal of Materials Processing Technology, Elsevier, (2002).
2. J.Wannasin, R.A. Martinez, M.C. Flemings. A novel Technique to Produce Metal Slurries for Semi-Solid Metal Processing. Solid State Phenomena Vols 116-117 pp 366-369 (2006).
3. Matjaz Torkar. Bojan Breskvar, Matjaz Godec, Paola Giordano, Aianluigi Chiarmetta. Microstructural evaluation of an NRC-processed automotive component. UDK 629.114.6:620.18 Professional article. ISSN 1580-2949.
4. Tim Basner. Rheocasting of semi-solid A357 Aluminum. Delphi Automotive Systems. Society of Automotive Engineers 10-0059, (2000).
5. Rheo-Light. Rheocasting: an innovative & ecological process for light and cost effective applications in different industrial sectors. Centro Ricerche FIAT.
6. Jim Yurko. Semi-solid rheocasting. IdraPrince Inc. Holland, Michigan USA.
7. L. Ivanchev, D. Wilkins, G. Govender, W. Du Preez, R Bean. Rheo-processing of semi-solid metal alloys- a new technology for manufacturing automotive and aerospace components. CSIR
8. Lê Công Dưỡng-Vật liệu học, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
9. Nguyễn Hồng Hải-Cơ sở lý thuyết quá trình đông đặc và ứng dụng. NXB KH&KT, (2006).