



CẨM NANG KỸ THUẬT: KIỂM SOÁT VÀ KHỬ KHÍ HYDRO TRONG CÔNG NGHỆ ĐÚC NHÔM

Phát hành bởi: Phòng Kỹ thuật Công nghệ – ES-TECH

PHẦN I: CƠ CHẾ HÒA TAN VÀ HÌNH THÀNH KHUYẾT TẬT RỖ KHÍ CỦA HYDRO

Khác với nhiều kim loại công nghiệp khác, nhôm và hợp kim nhôm sở hữu một đặc tính vật lý rất đặc biệt đối với khí Hydro. Đó là hiện tượng thay đổi đột biến về độ hòa tan của khí khi chuyển trạng thái từ lỏng sang rắn. Đây chính là gốc rễ của mọi bài toán khuyết tật bề mặt và suy giảm cơ tính trong ngành đúc.

Quy trình nhiễm khí và hình thành rỗ khí diễn ra tuần tự qua ba giai đoạn cốt lõi:

1. Nguồn phát sinh và sự hấp thụ Hydro ở nhiệt độ cao

Trong môi trường phân xưởng, nhôm lỏng không tự nhiên sinh ra Hydro mà hấp thụ nó từ các tác nhân ngoại cảnh thông qua phản ứng trực tiếp với hơi nước:

- **Các nguồn sinh khí phổ biến:** Độ ẩm tự nhiên trong không khí, hơi nước sinh ra từ quá trình đốt cháy nhiên liệu (đặc biệt là ở các dòng lò đốt gas, dầu DO, than, củi), lớp oxit ngậm nước trên bề mặt phôi liệu cũ, hoặc dầu mỡ bám trên phôi, dụng cụ cào xỉ, muối mủn chưa được sấy kỹ.
- **Cơ chế hấp thụ vào lòng kim loại:** Khi hơi nước tiếp xúc với bề mặt nhôm lỏng ở nhiệt độ nấu luyện cao (từ 700 đến 750 độ C), phản ứng hóa học diễn ra tách nước thành các nguyên tử Hydro đơn lẻ. Do kích thước nguyên tử Hydro cực kỳ nhỏ, chúng dễ dàng khuếch tán và hòa tan thẳng vào cấu trúc của nhôm lỏng. Nhiệt độ lò càng cao, các nguyên tử nhôm chuyển động càng mạnh, tạo ra nhiều khoảng trống giúp Hydro chui vào càng nhanh và nhiều hơn.

2. Hiện tượng giảm độ hòa tan đột ngột khi đông đặc

Mấu chốt của khuyết tật rỗ khí nằm ở sự sụt giảm độ hòa tan khi nhiệt độ hạ thấp:

- Khi nhôm ở trạng thái lỏng hoàn toàn (ở dải nhiệt trên 660 độ C), nó giống như một miếng bọt biển có thể ngậm một lượng lớn khí Hydro.
- Tuy nhiên, ngay tại thời điểm nhôm bắt đầu đông đặc chuyển sang trạng thái rắn (điểm tới hạn 660 độ C), cấu trúc của nhôm khít lại, làm độ hòa tan của khí Hydro bất ngờ sụt giảm đột ngột đến gần 20 lần.

3. Quá trình hình thành khuyết tật rỗ khí (Gas Porosity)

Do độ hòa tan giảm quá nhanh, một lượng lớn Hydro dư thừa bị ép phải đào thải ra ngoài dòng kim loại:

- **Sự kết tụ bong bóng:** Các nguyên tử Hydro tự do trong lòng kim loại lập tức tìm đến nhau, kết hợp lại thành các phân tử khí Hydro thông thường và hình thành nên các bong bóng khí nhỏ li ti.
- **Hiệu ứng bẫy khí:** Lúc này, dòng nhôm lỏng trong khuôn đang nguội dần và đặc quánh lại từ thành khuôn vào trong tâm. Tốc độ đông đặc của nhôm thường nhanh hơn tốc độ nổi lên của bong bóng khí. Kết quả là, các bong bóng Hydro bị mắc kẹt lại ngay giữa các nhánh tinh thể nhôm đang phát triển.

- **Hậu quả trên thành phẩm:** Khi nhôm nguội hẳn, những bong bóng khí bị giam lỏng này tạo thành các lỗ rỗng bên trong lòng chi tiết đúc. Nếu bong bóng nằm gần bề mặt, khi gia công cơ khí như tiện, phay, mài hoặc khi xử lý nhiệt, chúng sẽ lộ ra thành các vết rỗ châm kim, rỗ khí dạng tổ ong, làm giảm nghiêm trọng độ bền chịu lực của sản phẩm và khiến bề mặt bị rò rỉ, mất thẩm mỹ.

PHẦN II: CÁC PHƯƠNG PHÁP KHỬ KHÍ NHÔM LỎNG TIÊU CHUẨN TRONG CÔNG NGHIỆP

Để loại bỏ triệt để lượng Hydro hòa tan trước khi tiến hành rót khuôn, các nhà xưởng và nhà máy đúc hiện đại ngày nay thường áp dụng hai giải pháp kỹ thuật cốt lõi sau đây:

Phương pháp A: Sử dụng hóa chất và chất trợ dung (Fluxing)

- **Nguyên lý vận hành:** Phương pháp này sử dụng các loại muối chất trợ dung dạng bột hoặc dạng viên nén có chứa các hợp chất gốc clo hoặc flo (ví dụ như nhôm clorua, mangan clorua). Các hóa chất này được đưa trực tiếp vào sâu trong lòng bể nấu nhôm lỏng để tạo ra các phản ứng hóa lý ngay tại chỗ.
- **Cơ chế khử khí và loại bỏ tạp chất:**
 - *Phản ứng tạo bọt khí:* Khi các viên hóa chất hoặc bột trợ dung được đẩy xuống đáy lò, dưới tác động của nhiệt độ cao trên 700 độ C, chúng sẽ bị nhiệt phân và phản ứng với nhôm để tạo ra các bong bóng khí mịn.
 - *Cơ chế khuếch tán:* Theo định luật áp suất và khuếch tán, khí Hydro đang hòa tan tự do trong nhôm lỏng sẽ tự động di chuyển, thẩm thấu xuyên qua màng biên giới và chui vào bên trong các bọt khí vừa sinh ra này.
 - *Quá trình đẩy xỉ:* Khi các bọt khí này nổi lên bề mặt, chúng không chỉ mang theo khí Hydro mà còn cuốn theo các hạt oxit nhôm và tạp chất phi kim lơ lửng trong lòng bể nấu. Khi nổi lên trên, chúng đóng băng lại thành một lớp xỉ khô, giúp kỹ thuật viên vận hành dễ dàng dùng dụng cụ chuyên dụng để cào bỏ ra ngoài.
- **Đánh giá thực tế:**
 - *Ưu điểm:* Chi phí đầu tư thiết bị ban đầu rất rẻ, thao tác thủ công dễ thực hiện, phù hợp cho các xưởng đúc quy mô nhỏ hoặc vừa.
 - *Nhược điểm:* Phản ứng hóa học thường sinh ra một lượng khói mùi độc hại, gây ăn mòn vỏ lò và cần hệ thống hút khói tốt để đáp ứng các yêu cầu bảo vệ môi trường theo quy định.

Phương pháp B: Sục khí trợ bằng trục quay (Gas Purging / Rotary Degassing)

- **Nguyên lý vận hành:** Đây là công nghệ khử khí tiên tiến, cho hiệu suất cao và sạch nhất, được áp dụng bắt buộc tại các nhà máy đúc nhôm chuyên nghiệp hoặc các xưởng đúc chi tiết máy chất lượng cao. Hệ thống sử dụng một trục khuấy làm bằng vật liệu than chì (graphite) có khả năng chịu nhiệt và chịu ăn mòn hóa học cực tốt, nhúng sâu xuống đáy bể nhôm lỏng.
- **Cơ chế khử khí cơ học:**
 - *Sục khí trợ tinh khiết:* Khí Argon hoặc khí Nitơ khô tinh khiết (độ sạch trên 99.99%) được bơm từ bình nén, đi xuyên qua tâm lòng ống trục than chì và thoát ra ngoài ở phần đầu vòi phun dưới đáy lò.
 - *Đánh tan bọt khí bằng cánh khuấy:* Khi trục than chì quay với tốc độ cực cao (khoảng 300 đến 600 vòng mỗi phút), cánh khuấy ở đầu trục sẽ xé nhỏ dòng khí trợ vừa thoát ra, biến chúng thành hàng triệu bong bóng khí siêu nhỏ (kích thước micro) phân tán đồng đều, tạo thành một "cơn mưa bọt khí ngược" bao phủ khắp toàn bộ dung tích bể chứa nhôm lỏng.

- *Thu gom Hydro toàn diện:* Diện tích tiếp xúc tổng thể giữa các bọt khí siêu nhỏ này với nhôm lỏng là cực kỳ khổng lồ. Khí Hydro hòa tan trong nhôm bị hút bám chặt vào bề mặt các bọt khí lơ lửng này theo nguyên lý áp suất riêng phần, sau đó được dòng khí thổi nhấc mang thẳng lên bề mặt và giải phóng hoàn toàn ra ngoài không khí một cách êm dịu, không gây bắn tóe nước nhôm.
- **Đánh giá thực tế:**
 - *Ưu điểm:* Hiệu suất khử khí đạt tới trên 90%, nước nhôm sau xử lý có độ tinh khiết tuyệt đối, không sinh khói độc hại, kiểm soát nghiêm ngặt tỷ lệ hao hụt tổng thể dưới 1.5%. Phôi đúc ra hoàn toàn không bị rỗ chàm kim, bề mặt sản phẩm nhẵn mịn, bền bỉ.
 - *Nhược điểm:* Chi phí đầu tư máy móc ban đầu cao hơn, yêu cầu nguồn khí trợ cấp vào phải đảm bảo khô hoàn toàn vì nếu khí trợ dính ẩm sẽ gây phản ứng ngược làm nhiễm thêm Hydro vào nhôm.

PHẦN III: CÁC LƯU Ý KỸ THUẬT ĐỂ KIỂM SOÁT VÀ CHỦ ĐỘNG PHÒNG NGỪA NHIỄM KHÍ HYDRO

Trong công nghệ đúc nhôm chuyên nghiệp, việc khử khí chỉ là giải pháp phần ngọn. Để tối ưu hóa chi phí sản xuất và giữ chất lượng phôi ổn định, việc chủ động kiểm soát, ngăn ngừa không cho khí Hydro xâm nhập vào nước nhôm ngay từ khâu nấu luyện mới là chìa khóa gốc rễ.

Dưới đây là các lưu ý kỹ thuật thực chiến mà mọi kỹ thuật viên vận hành lò cần tuân thủ nghiêm ngặt:

1. Kiểm soát chặt chẽ nhiệt độ nấu luyện

Tốc độ và khả năng hòa tan của khí Hydro vào nhôm lỏng tỉ lệ thuận với nhiệt độ bể nấu. Khi nhiệt độ nước nhôm vượt quá mức cần thiết, cấu trúc lỏng trở nên lỏng lẻo hơn, khiến tốc độ hấp thụ khí tăng lên theo cấp số nhân.

- **Rủi ro khí quá nhiệt:** Việc để lò quá nhiệt (hiện tượng overheating) không chỉ làm nhôm cháy hao hụt mạnh mà còn làm mềm nhôm biến thành một miếng bọt biển hút khí cực mạnh.
- **Giải pháp kỹ thuật:** Kỹ thuật viên cần cài đặt dải nhiệt độ tối ưu cho từng mác nhôm (thường dao động từ 700 đến 740 độ C tùy theo độ dày chi tiết đúc) và không được nấu vượt ngưỡng này. Sử dụng hệ thống kiểm soát nhiệt độ tự động PID chính xác kết hợp cảm biến nhúng sâu (như trên dòng lò cảm ứng thế hệ mới của ES-TECH) giúp lò tự động điều chỉnh bù nhiệt mịn màng, sai số dưới 1 độ C, triệt tiêu hoàn toàn hiện tượng quá nhiệt lãng phí năng lượng và nhiễm khí.

2. Quy trình sấy khô tuyệt đối phôi liệu và công cụ dụng cụ

Hơi nước và độ ẩm chính là nguồn cung cấp nguyên tử Hydro lớn nhất trong nhà xưởng. Bất kỳ một giọt ẩm nhỏ nào tiếp xúc với nhôm lỏng cũng gây ra phản ứng hoàn nguyên sinh khí ngay lập tức, thậm chí gây nổ bắn tóe nước nhôm nguy hiểm.

- **Sấy phôi liệu đầu vào:** Phôi nhôm thỏi, nhôm cục hoặc phôi liệu tuần hoàn bắt buộc phải được bảo quản ở nơi khô ráo. Trước khi sạc liệu vào lò, phôi phải được xếp quanh vỏ lò hoặc đặt vào buồng sấy gia nhiệt trước để bay hơi hoàn toàn độ ẩm bám trên bề mặt.
- **Sấy công cụ và chất trợ dung:** Muối mủ nhôm, dụng cụ cào xỉ, thanh khuấy, vỏ nồi nấu mới và hệ thống khuôn đúc phải được sấy nóng đò bằng đầu khò gas trước khi nhúng vào bể nhôm lỏng. Ngay cả các loại muối chất trợ dung cũng cần được giữ khô ráo, tránh để tiếp xúc với không khí ẩm bên ngoài làm vốn cục, tích nước.

3. Hạn chế khuấy đảo bề mặt hồ của nước nhôm

Thông thường, khi nhôm nóng chảy, một lớp màng mỏng oxit nhôm tự nhiên sẽ hình thành bao bọc trên bề mặt bể nấu. Lớp màng này đóng vai trò như một chiếc lá chắn bảo vệ, ngăn không cho nhôm lỏng tiếp xúc trực tiếp và hấp thụ độ ẩm từ môi trường không khí bên ngoài.

- **Sai lầm khi vận hành:** Việc công nhân dùng thanh cào khuấy đảo liên tục, quá mạnh tay sẽ làm rách và vỡ vụn lớp màng bảo vệ này. Lớp nhôm lỏng phía dưới liên tục lộ ra, tiếp xúc với không khí ẩm và đẩy nhanh quá trình nhiễm khí Hydro.
- **Thao tác chuẩn:** Trong suốt quá trình nấu, chỉ khuấy nhẹ nhàng khi cần hòa tan chất trợ dung hoặc khi cào xỉ. Thao tác cào xỉ phải dứt khoát, lướt nhẹ trên bề mặt, tránh khuấy sâu từ đáy lò lên làm xáo trộn dòng chảy.

KẾT LUẬN TỪ CHUYÊN GIA THIẾT BỊ NHIỆT ES-TECH

Làm chủ quy trình khử khí nghiêm ngặt kết hợp với việc ứng dụng công nghệ lò nấu hiện đại, kín nhiệt và kiểm soát dải nhiệt thông minh chính là giải pháp kinh tế cốt lõi giúp xưởng đúc nâng cao tỷ lệ sản phẩm đạt chuẩn, bề mặt nhẵn mịn, bền bỉ và giảm tối đa tỷ lệ hàng lỗi hỏng phải nấu lại.

THÔNG TIN LIÊN HỆ TƯ VẤN CÔNG NGHỆ VÀ THIẾT BỊ LÒ ĐÚC:

- **CÔNG TY CỔ PHẦN GIẢI PHÁP TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG ES-TECH – Thiết Bị Nhiệt Và Luyện Kim Công Nghiệp**
- **Hotline tư vấn giải pháp:** 0965.299.777
- **Hotline kỹ thuật công nghệ:** 0962.217.168
- **Văn phòng:** Liên kè 7-17, Khu đô thị Văn Khê, Hà Đông, Hà Nội.
- **Website chính thức:** <https://es-tech.vn>

Các nguồn uy tín dưới đây để tải về hoặc tìm hiểu sâu hơn:

1. Cẩm nang ASM Handbook, Tập 15: Casting (Đúc)
 - *Nội dung:* Đây là bộ "sách gối đầu giường" của các kỹ sư luyện kim thế giới. Tập 15 phân tích chi tiết toán học và vật lý về độ hòa tan của khí Hydro trong nhôm lỏng ở các dải nhiệt độ, biểu đồ sụt giảm độ hòa tan khi đông đặc, và cấu trúc tinh thể bị lỗi rỗ khí.
2. Tài liệu kỹ thuật từ Hiệp hội Đúc Hoa Kỳ (American Foundry Society - AFS)
 - *Nội dung:* Hiệp hội AFS có rất nhiều bài nghiên cứu thực chiến tại phân xưởng về phương pháp sục khí trợ (Rotary Degassing) bằng trực than chì (Graphite), cách kiểm soát tốc độ vòng quay từ 300 - 600 vòng/phút và lưu lượng khí Argon/Nitơ để bẫy Hydro hiệu quả nhất mà không làm bắn tóe nước nhôm.
3. Hội thảo quốc tế về Nhôm và Hợp kim nhôm (Light Metals - thuộc tổ chức TMS)
 - *Nội dung:* Các báo cáo chuyên sâu hàng năm về công nghệ xử lý nước nhôm sạch (Melt Cleanliness), cơ chế phản ứng hóa học của các loại muối trợ dung chứa Clo/Flo (Fluxing) và các tiêu chuẩn bảo vệ môi trường, xử lý khói thải độc hại trong nhà xưởng đúc hiện đại.
4. Tài liệu vận hành của các hãng thiết bị sục khí và đầu đo Hydro thương mại (như Foseco, Pyrotek)
 - *Nội dung:* Các tài liệu hướng dẫn thực chiến tại xưởng (Application Notes) chỉ ra quy trình sấy khô công cụ dụng cụ, rủi ro khi khuấy đảo màng oxit bề mặt hờ, và lợi ích của việc dùng tủ điều khiển PID tự động để kiểm soát dải nhiệt độ 700 - 740 độ C chống hiện tượng quá nhiệt (overheating).

