

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

BÁO CÁO HỌC THUẬT

TÌM HIỂU VỀ
ĐIỂM EUTECTI VÀ ỨNG DỤNG

ThS. Phạm Tiến Dũng- bộ môn Hóa

Hà Nội, 06/2026

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

BÁO CÁO HỌC THUẬT

TÌM HIỂU VỀ
ĐIỂM EUTECTI VÀ ỨNG DỤNG

Xác nhận của bộ môn



Hà Mạnh Hưng

Hà Nội, 06/2026

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	2
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	3
I. QUY TẮC PHA	3
II. ĐIỂM EUTECTI - HỆ EUTECTI	3
CHƯƠNG II: CÂN BẰNG LỎNG –RẮN HỆ TẠO EUTECTI ĐƠN GIẢN.....	5
I. HỆ HAI CẤU TỬ CÂN BẰNG LỎNG-RẮN TẠO EUTECTI ĐƠN GIẢN....	5
1. Giải đồ pha tổng quát của hệ	5
2. Phân tích quá trình làm lạnh hệ	6
II. HỆ 3 CẤU TỬ CÂN BẰNG LỎNG - RẮN TẠO EUTECTI ĐƠN GIẢN.....	7
CHƯƠNG III. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA HỆ EUTECTI.....	9
I. ỨNG DỤNG TRONG LĨNH VỰC LUYỆN KIM.....	9
1. Hợp kim hàn Sn-Pb	9
2. Hợp kim Ag-Cu	9
3. Hợp kim hàn Sn-Ag-Cu.....	10
II. ỨNG DỤNG TRONG CÔNG NGHỆ ĐÚC GANG (HỆ Fe-C).....	11
III. ỨNG DỤNG TRONG LĨNH VỰC Y- DƯỢC.....	12
1. Tăng tốc độ hòa tan của dược chất khó tan	12
2. Thuốc gây tê bề mặt nồng độ cao (hỗn hợp EMLA).....	13
3. Dung môi Eutecti sâu (Deep Eutectic Solvents - DES) trong hóa dược:.....	13
IV. ỨNG DỤNG TRONG SẢN XUẤT VÀ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG	15
1. Vật liệu tích trữ năng lượng chuyển pha (Phase Change Materials - PCM):	15
2. Vật liệu tích trữ năng lượng nhiệt (Solar Salt).....	15
V. ỨNG DỤNG TRONG ĐỜI SỐNG	17
1. Công nghệ chống đóng băng giao thông	17
2. Sản xuất muối potassium.....	17
3. Sản xuất nhôm	18
4. Sản xuất hợp kim có nhiệt độ nóng chảy thấp (cầu chì, sprinkler).....	19
KẾT LUẬN.....	20
TÀI LIỆU THAM KHẢO	21

MỞ ĐẦU

Trong khoa học vật liệu và hóa học lý thuyết, cân bằng pha đóng vai trò nền tảng để dự đoán trạng thái tổ chức, cấu trúc vi mô và tính chất lý-hóa của các hệ đa cấu tử. Trong số các dạng chuyển pha từ lỏng sang rắn, chuyển pha eutecti là một trong những hiện tượng quan trọng nhất. Điểm eutecti xác định một trạng thái đặc biệt mà tại đó hỗn hợp lỏng có thể đồng thời chuyển sang các pha rắn ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt kết tinh của từng cấu tử nguyên chất cấu tạo nên hệ.

Hiện tượng eutecti được ứng dụng rộng rãi trong luyện kim, công nghệ vật liệu, điện tử, y dược, thực phẩm, công nghệ nhiệt và nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác...

Do đó tôi chọn nghiên cứu **“Tìm hiểu điểm eutecti và ứng dụng”** có rất nhiều ý nghĩa cả về mặt lý thuyết lẫn thực tiễn đời sống và sản xuất.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT

I. QUY TẮC PHA

Là hệ thức nêu lên mối liên hệ giữa số cấu tử n , số pha ϕ và số bậc tự do f . Phương trình qui tắc pha của Gibbs:

$$f = n + 2 - \Phi$$

Phát biểu: " Đối với một hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt động chịu tác dụng của các yếu tố bên ngoài là áp suất và nhiệt độ, số bậc tự do (f) của hệ bằng số cấu tử (n) trừ đi số pha (ϕ) và cộng thêm 2"

Nếu hệ nghiên cứu ở điều kiện đẳng nhiệt ($T = \text{const}$) hoặc đẳng áp ($P = \text{const}$) thì bậc tự do f sẽ được tính theo công thức là $f = n + 1 - \phi$

Trong đó:

+ Pha (ϕ): Là tập hợp tất cả các phần đồng thể của một hệ, có thành phần tính chất vật lý, tính chất hoá học giống nhau và có bề mặt phân chia với các phần khác của hệ.

Ví dụ: Nước chứa trong cốc là hệ đồng thể một pha. Nếu ta cho thêm một miếng nước đá vào thì đó là hệ dị thể gồm 2 pha (pha rắn là nước đá, pha lỏng là nước).

+ Cấu tử (n): là những chất có mặt trong hệ, nhưng có thể tách ra tồn tại độc lập ngoài hệ trong một thời gian đủ lâu.

Ví dụ : Hệ H₂O rắn – H₂O lỏng : là hệ có 1 cấu tử

Hệ Sn - Pb; NaCl - H₂O; Al₂O₃- Na₃AlF₆ : là hệ 2 cấu tử.

Hệ Sn-Cd- Bi, NaCl- KCl-H₂O : là hệ có 3 cấu tử

+ Bậc tự do (f). Là số thông số trạng thái (nhiệt độ, áp suất, thành phần các cấu tử) có thể biến đổi tùy ý mà vẫn không làm biến đổi số và bản chất các pha trong hệ.

$f = 0$: Hệ vô biến, $f = 1$: Hệ đơn biến, $f = 2$: Hệ nhị biến...

II. ĐIỂM EUTECTI - HỆ EUTECTI

Từ "eutecti" có nguồn gốc từ tiếng Hy Lạp "*eutektos*", nghĩa là "dễ nóng chảy".

Về mặt nhiệt động học, điểm eutecti là điểm trên giản đồ pha biểu diễn trạng thái cân bằng giữa pha lỏng (L) và các pha rắn nguyên chất (α, β, \dots) ở nhiệt độ thấp nhất có thể đạt được của hệ dưới một áp suất xác định.

Phản ứng eutecti tổng quát: $L \rightarrow \alpha + \beta$

Trong đó:

- L: pha lỏng,
- α, β : các pha rắn.

Hệ eutecti là hệ hỗn hợp 2 chất có thành phần eutecti và có nhiệt độ kết tinh là nhiệt độ eutecti. Đặc điểm của hệ eutecti:

- Nhiệt độ đông đặc không đổi.
- Hỗn hợp rắn kết tinh đồng thời.
- Tạo vi cấu trúc đặc trưng dạng phiến hoặc dạng que.

Các đặc điểm trên là cơ sở quan trọng để ứng dụng các hệ eutecti trong nhiều lĩnh vực khác nhau (vật liệu, năng lượng, chế tạo dược chất,...)

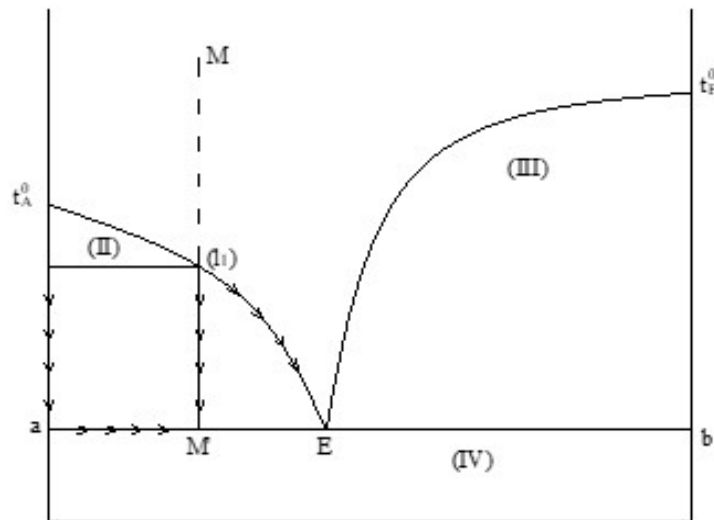
CHƯƠNG II: CÂN BẰNG LỎNG – RẮN HỆ TẠO EUTECTI ĐƠN GIẢN

I. HỆ HAI CẤU TỬ CÂN BẰNG LỎNG-RẮN TẠO EUTECTI ĐƠN GIẢN

1. Giải đồ pha tổng quát của hệ

Xét hệ 2 cấu tử A, B tan vô hạn vào nhau ở trạng thái lỏng, nhưng ở trạng thái rắn lại hoàn toàn không tan vào nhau.

Từ thực nghiệm xây dựng được giản đồ pha của hệ ($p = \text{const}$) có dạng tổng quát như sau:



Hình 1: giản đồ pha hệ 2 cấu tử tạo eutecti đơn giản.

+ Đường $t_A^0 E t_B^0$ là đường lỏng (*đường thủy tuyến*): Đường giới hạn trên, phía trên đường này hệ hoàn toàn tồn tại ở trạng thái lỏng (L). Khi hạ nhiệt độ chạm đường lỏng, quá trình kết tinh bắt đầu.

+ Đường ab là đường rắn (*đường cố tuyến*): Đường giới hạn dưới, phía dưới đường này hệ hoàn toàn ở trạng thái rắn. Đường này đi qua điểm eutecti E và song song với trục thành phần.

+ 2 đường lỏng và rắn chia giản đồ thành các vùng sau:

Vùng (I): đồng thể một pha lỏng

Vùng (II): dị thể $R_A \rightleftharpoons L$

Vùng (III): Dị thể $R_B \rightleftharpoons L$

Vùng (IV): Dị thể R_A, R_B

+ Điểm Eutecti (E): Giao điểm của hai đường lỏng và rắn, $f = 0$.

Bậc tự do f tổng quát áp dụng cho hệ này là $f = n + 1 - \Phi = 2 + 1 - \Phi = 3 - \Phi$

E là điểm eutecti, tại đây hệ tồn tại đồng thời cân bằng của 3 pha L, R_A, R_B, f= 0 hệ là vô biến. Nhiệt độ và thành phần tại điểm eutecti gọi là nhiệt độ và thành phần eutecti

2. Phân tích quá trình làm lạnh hệ

Xét quá trình làm lạnh hệ ứng với điểm cấu hình M ở vùng (I)

- Khi hạ nhiệt độ tương ứng với l₁ thì L (l₁) bắt đầu bão hoà cấu tử A, nên bắt đầu có rắn A tách ra, khối lượng rắn A tách ra (R_A) được biểu diễn tại điểm r₁.
- Tại l₁ hệ là dị thể 2 pha, f = 1 hệ là nhất biến. Áp dụng qui tắc đòn bẩy

$$L(l_1) \cdot \bar{l}_1 l_2 = 0 = R_1(r_1) \bar{l}_1 l_2$$

chúng tỏ tại nhiệt độ tương ứng với l₁ thì lượng R_A xuất hiện vô cùng ít.

- Tiếp tục làm lạnh, pha lỏng có thành phần biến đổi dọc theo đường lỏng t_A⁰E từ l₁ đến E, còn điểm biểu diễn cho thành phần pha rắn chuyển dịch dọc theo trục tung từ r₁ đến a.
- Theo quy tắc đòn bẩy, trong quá trình làm lạnh từ l₁ đến M', lượng R_A kết tinh ngày càng nhiều. Khi điểm biểu diễn cho thành phần pha lỏng vừa chạm đến E thì L(E) không chỉ bão hoà cấu tử A, mà còn bão hoà cả B
- Tại điểm eutecti của hệ 2 cấu tử (C=2), số pha cùng tồn tại ở trạng thái cân bằng là Φ=3 (gồm 1 pha lỏng và 2 pha rắn riêng biệt). Áp dụng quy tắc pha: f=2-3+1=0

Vì số bậc tự do bằng 0 (f=0), điểm eutecti là một điểm vô biến. Điều này có nghĩa là cả nhiệt độ và thành phần của các pha tại điểm này là hoàn toàn cố định. Bất kỳ sự thay đổi nào về nhiệt độ hoặc thành phần của hệ tổng đều sẽ dẫn đến sự biến mất của ít nhất một pha. Phản ứng kết tinh xảy ra tại điểm eutecti khi làm lạnh tuân theo sơ đồ chuyển pha:



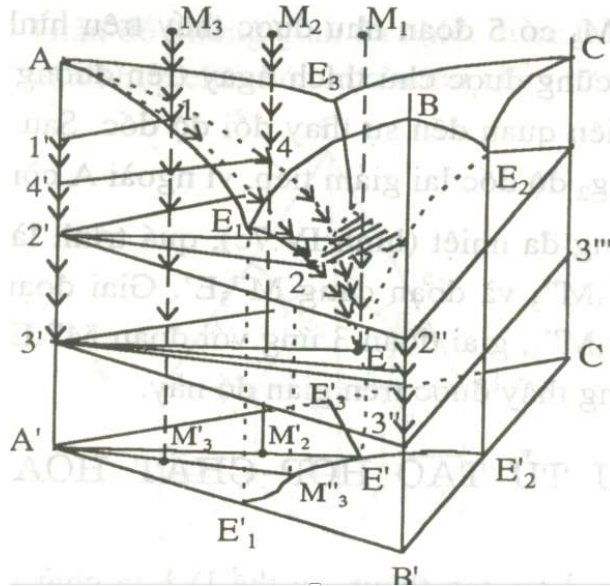
Khi hệ lỏng có thành phần eutecti chính xác hạ nhiệt độ đến nhiệt độ eutecti (T_E), toàn bộ lượng chất lỏng sẽ kết tinh đồng thời thành một hỗn hợp cơ học mịn của hai pha rắn α và β. Quá trình này giải phóng nhiệt kết tinh, làm cho nhiệt độ của hệ giữ hằng định trên đường cong nguội lạnh cho đến khi pha lỏng E biến mất hoàn toàn (cạn hết).

- Trong quá trình kết tinh eutecti thì thành phần pha lỏng vẫn giữ nguyên tại E, còn điểm biểu diễn cho thành phần pha rắn sẽ chuyển trên đường thẳng (ab) từ a đến M'.
- Khi điểm biểu diễn cho thành phần pha rắn vừa chạm đến M' thì cũng đúng vào lúc lỏng E cạn hết.

II. HỆ 3 CẤU TỬ CÂN BẰNG LỎNG - RẮN TẠO EUTECTI ĐƠN GIẢN

Hệ 3 cấu tử A, B, C có khả năng tan vô hạn vào nhau ở trạng thái lỏng và ở trạng thái rắn lại hoàn toàn không tan vào nhau.

Giản đồ không gian đa nhiệt đẳng áp tổng quát của hệ có dạng sau:



Hình 2: giản đồ không gian đa nhiệt hệ 3 cấu tử tạo euctecti đơn giản.

+ T^0_A, T^0_B, T^0_C , là T^0_{nc} của các cấu tử A, B, C ở trạng thái nguyên chất.

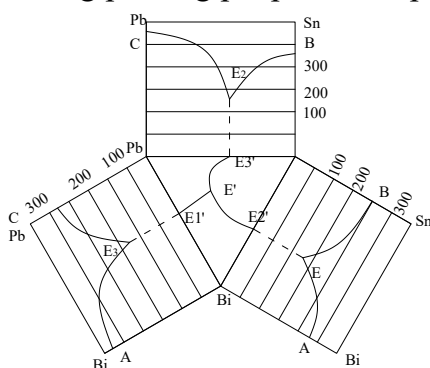
+ E_1, E_2, E_3 là những điểm euctecti bậc hai.

+ E_1E, E_2E và E_3E biểu diễn các cân bằng nhất biến giữa 2 pha rắn nguyên chất và 1 pha lỏng bậc ba.

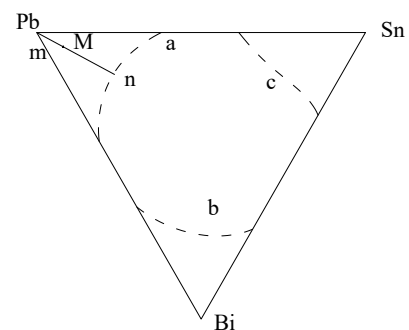
+ E: là điểm euctecti bậc 3, $f = 0$, hệ là vô biến

- Nếu chiếu giản đồ không gian đa nhiệt xuống mặt phẳng đáy ta sẽ thu được giản đồ phẳng đa nhiệt.

- Ta cũng có thể thu được các giản đồ không gian trải trên mặt phẳng hoặc giản đồ đơn nhiệt bằng phương pháp thích hợp.



Hình 3: Giản đồ không gian đa nhiệt hệ 3 cấu tử.



Hình 4: Giản đồ đơn nhiệt hệ 3 cấu tử.

Từ giản đồ không gian đa nhiệt trải phẳng của hệ 3 cấu tử, ta nhận thấy bản chất của hệ 3 cấu tử chính là 3 giản đồ pha của hệ 2 cấu tử được ghép lại trên 3 cạnh của tam giác thành phần.

Do đó, việc phân tích để hiểu bản chất của hệ 3 cấu tử cũng có nhiều điểm tương tự với hệ 2 cấu tử đã được trình bày chi tiết ở phần trên.

CHƯƠNG III. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA HỆ EUTECTI

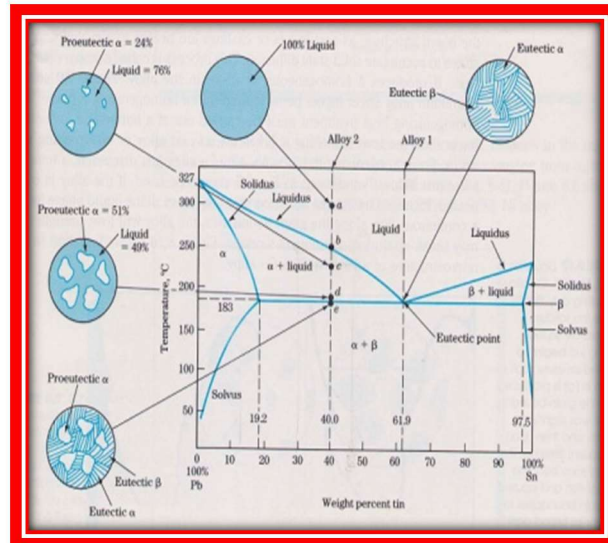
I. ỨNG DỤNG TRONG LĨNH VỰC LUYỆN KIM

Lĩnh vực luyện kim là nơi khai thác sớm nhất và triệt để nhất các tính chất của hệ eutecti nhờ hai đặc tính ưu việt: nhiệt độ nóng chảy thấp nhất và tính chảy loãng cao khi hóa lỏng.

1. Hợp kim hàn Sn-Pb

Hợp kim hàn truyền thống phổ biến nhất là hệ hai cấu tử Chì - Thiếc (Pb-Sn).

- Thiếc nguyên chất nóng chảy ở 232°C , Chì nguyên chất nóng chảy ở 327°C .
- Tuy nhiên, tại điểm eutecti với thành phần 61,9% Sn và 38,1% Pb, hợp kim nóng chảy ở nhiệt độ thấp kỷ lục là 183°C .



Hình 5: Biểu đồ pha hệ 2 cấu tử Pb- Sn.

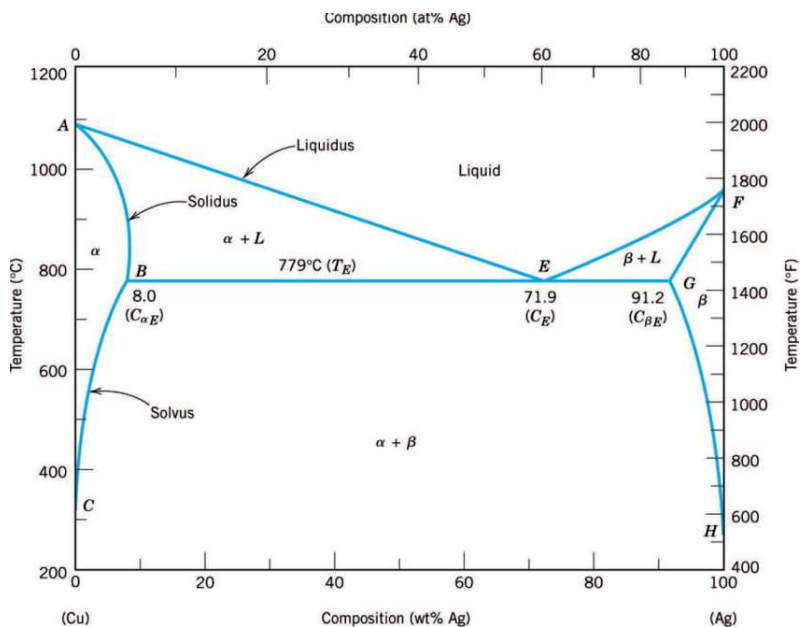
- Với các ưu điểm: Nóng chảy nhanh. Chuyển trực tiếp từ lỏng sang rắn. Không có khoảng bán nóng chảy sẽ giúp bảo vệ các linh kiện bán dẫn nhạy cảm với nhiệt (như chip, diode, tụ điện) không bị hỏng trong quá trình hàn bản mạch. Đồng thời, cấu trúc tinh thể mịn của tổ chức cùng kết tinh giúp mỗi hàn có độ bền cơ học cao.

2. Hợp kim Ag-Cu

Hệ Ag - Cu: được dùng rộng rãi trong vật liệu dẫn điện, chế tạo tiếp điểm điện, hợp kim hàn bạc.

Đồng (Cu) nóng chảy ở 1085°C và Ag nóng chảy ở 962°C .

Điểm eutecti (71,9% khối lượng Ag): Khoảng 779°C .



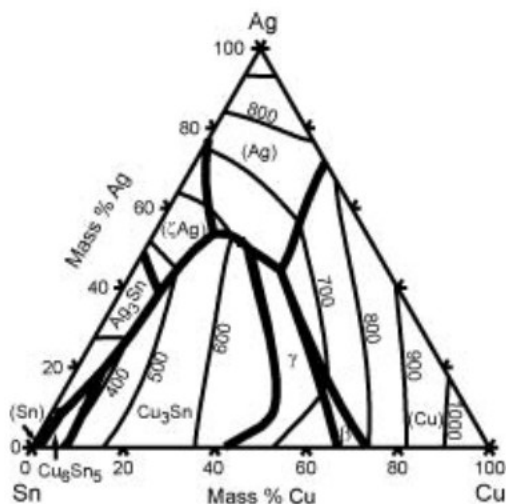
Hình 5: Giải đồ pha hệ Cu-Ag.

Ưu điểm: Dẫn điện tốt. Chống ăn mòn cao. Độ bền cơ học lớn.

Ứng dụng thực tế: Tiếp điểm trong role điện. Công tắc công suất cao. Hợp kim trang sức.

3. Hợp kim hàn Sn-Ag-Cu

Hiện nay, để bảo vệ môi trường, các hệ eutecti 3 cấu tử không chì như **Sn-Ag-Cu** (SAC) (điểm eutecti tại 217°C) đã được phát triển để thay thế hoàn toàn hệ Pb-Sn.



Hình 6: Giải đồ pha hệ Sn- Ag- Cu.

Dựa vào giản đồ pha này, ngành công nghiệp điện tử đã tối ưu hóa các mác hợp kim hàn không chì thương mại phổ biến:

SAC305 (Sn - 3,0%Ag - 0,5%Cu): Mác hợp kim phổ thông nhất cho hàn dòng và hàn kem. Thành phần này nằm rất gần điểm kết tinh eutecti, giúp duy trì khoảng nóng chảy hẹp (217 – 220⁰C) và giảm thiểu chi phí nguyên liệu bạc (Ag).

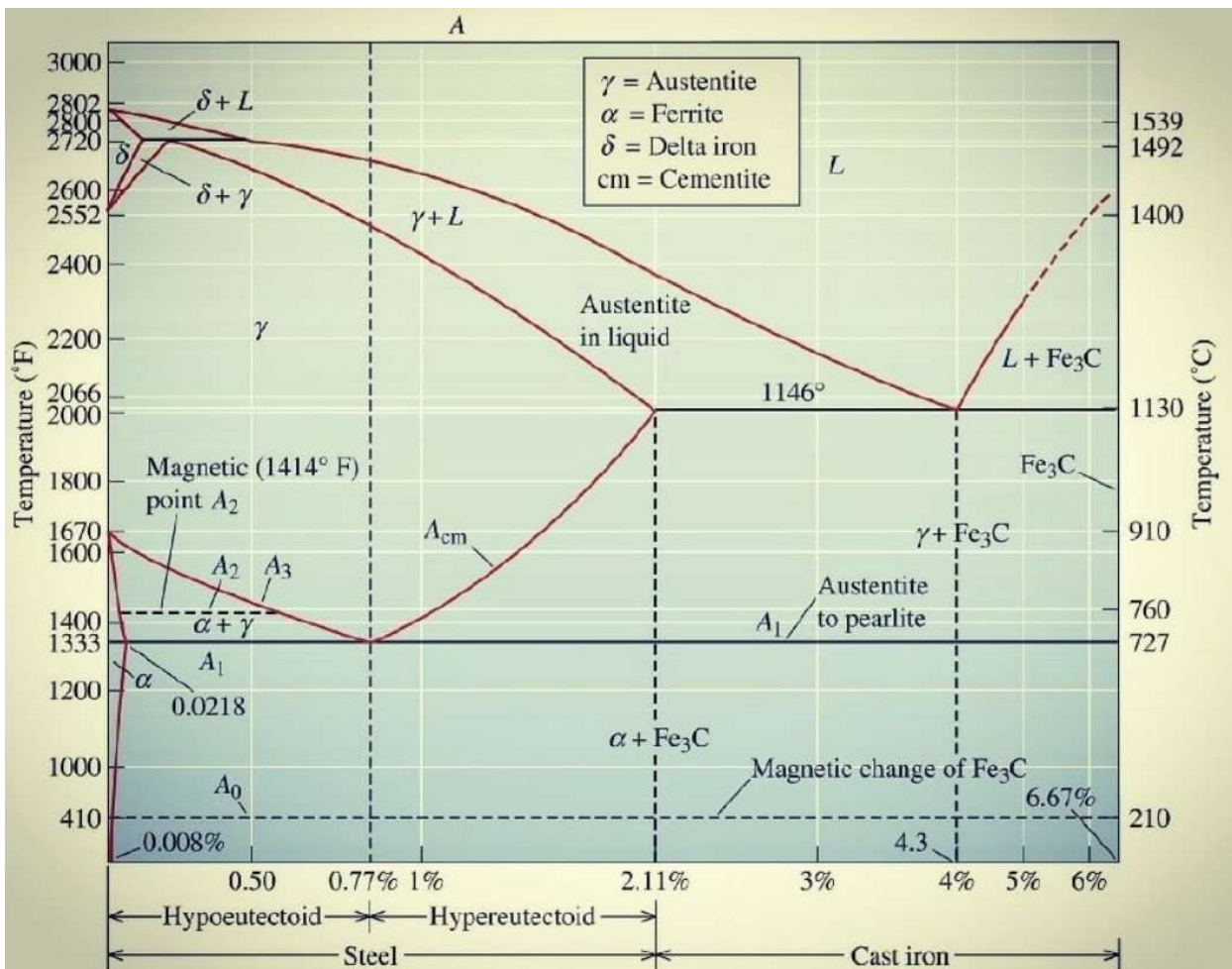
SAC405 (Sn - 4,0%Ag - 0,5%Cu): Nằm sát điểm eutecti hơn, cho độ bền cơ học tốt hơn nhưng giá thành cao hơn do tốn Ag.

II. ỨNG DỤNG TRONG CÔNG NGHỆ ĐÚC GANG (HỆ Fe-C)

Gang là hợp kim Fe-C có hàm lượng Carbon lớn hơn 2,14%.

Điểm eutecti của hệ Fe-C xuất hiện ở 4,3% C tại nhiệt độ 1147⁰C (trong khi sắt nguyên chất nóng chảy ở 1538⁰C).

Hỗn hợp eutecti tại đây được gọi là **Ledeburit** (gồm Austenit và Xêmentit).



Hình 7: Giản đồ pha hệ Fe- C.

Khi nấu luyện gang có thành phần gần điểm eutecti, độ chảy loãng của hợp kim đạt mức tối đa, độ co ngót khi hóa rắn thấp, giúp điền đầy dễ dàng vào các khuôn đúc phức tạp như lốc máy ô tô, đường ống chịu lực và bộ máy công nghiệp.

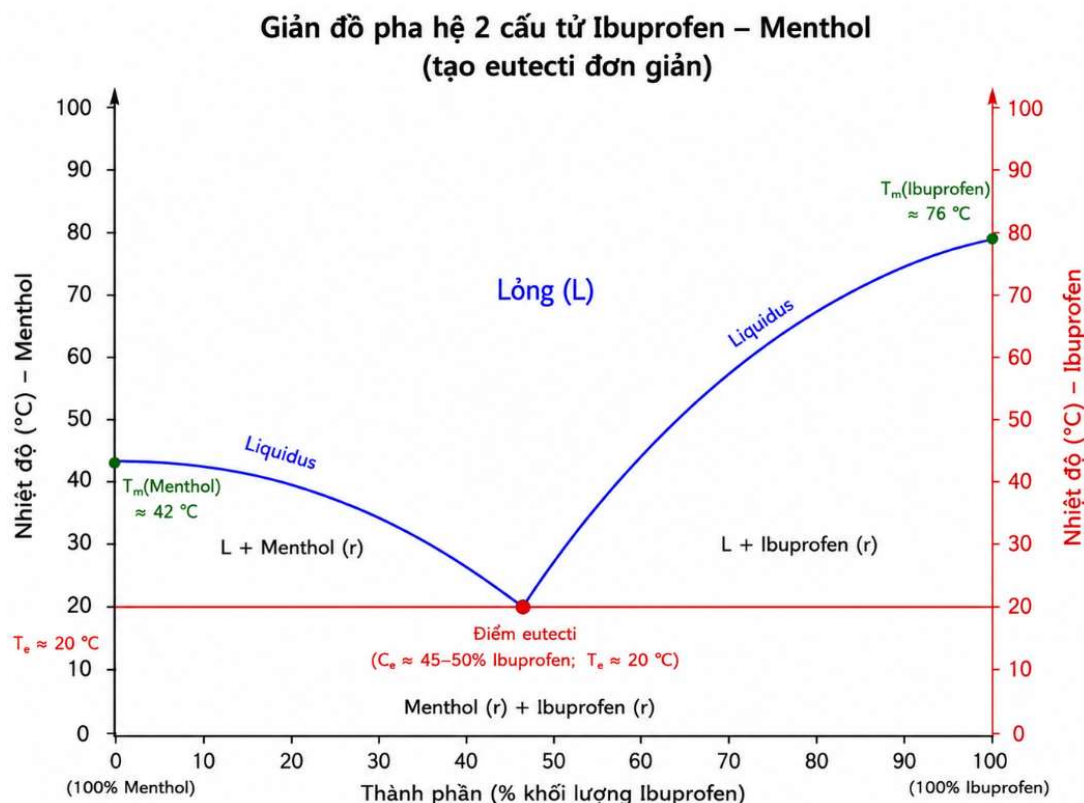
III. ỨNG DỤNG TRONG LĨNH VỰC Y- DƯỢC

Trong bào chế dược phẩm hiện đại, có đến 40% các hoạt chất mới phát minh có đặc tính siêu chống nước (là chất có hiệu ứng bề mặt cực kỳ khó bị dính ướt bởi nước), dẫn đến độ hòa tan trong dịch vị cực kém, làm giảm sinh khả dụng của thuốc. Hệ eutecti mở ra một hướng đi tối ưu để giải quyết bài toán này thông qua phương pháp hệ nền phân tán rắn.

1. Tăng tốc độ hòa tan của dược chất khó tan

Khi phối hợp một dược chất khó tan (như Ibuprofen, Ketoprofen, Fenofibrate) với một chất mang trợ, dễ tan trong nước (như PEG, Urea, Menthol, Xylitol) theo tỷ lệ eutecti, hệ thu được có cấu trúc vi mô dạng các hạt tinh thể dược chất siêu mịn phân tán ở mức độ phân tử hoặc keo vào chất mang.

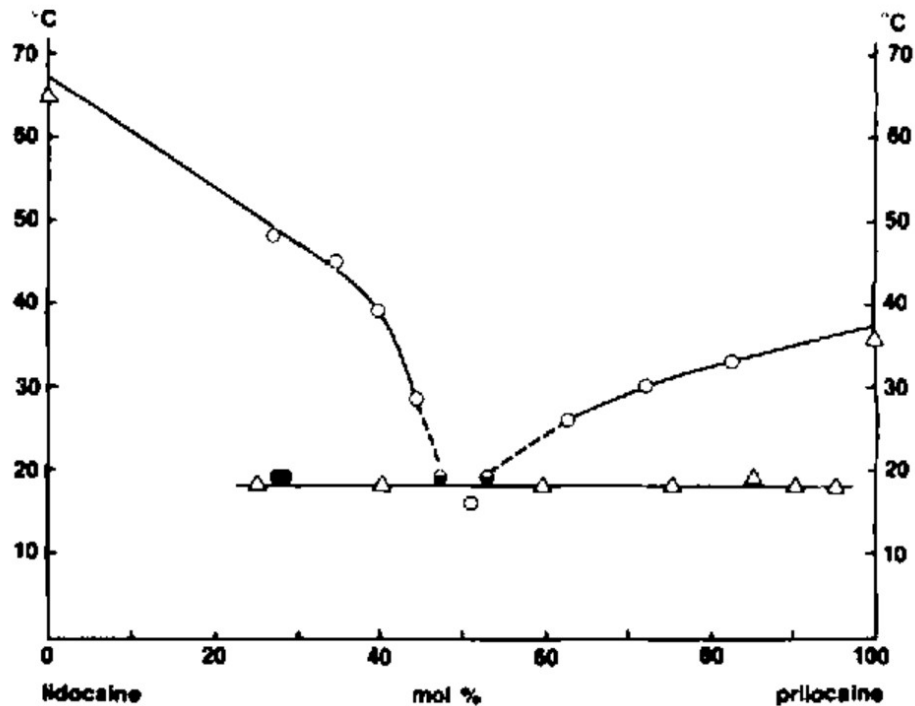
Hệ hai cấu tử Ibuprofen - Menthol. Ibuprofen nóng chảy ở 76°C , Menthol nóng chảy ở 42°C . Khi phối hợp theo tỷ lệ mol thích hợp, hệ eutecti hóa lỏng ngay ở nhiệt độ phòng. Khi tiếp xúc với dịch cơ thể, chất mang nhanh chóng hòa tan, giải phóng các hạt hoạt chất với diện tích bề mặt tiếp xúc cực lớn, giúp tốc độ hòa tan tăng lên gấp hàng chục lần so với hoạt chất dạng tinh thể thô ban đầu.



Hình 8: Giản đồ pha hệ Menthol – Ibuprofen

2. Thuốc gây tê bề mặt nồng độ cao (hỗn hợp EMLA)

Một ứng dụng trong y học là kem gây tê EMLA. Đây là hỗn hợp eutecti giữa hai chất gây tê cục bộ dạng tinh thể trắng là Lidocaine (nóng chảy ở 68°C) và Prilocaine (nóng chảy ở 38°C). Khi trộn chúng theo tỷ lệ khối lượng 1:1, điểm eutecti xuất hiện và hỗn hợp chuyển hoàn toàn sang trạng thái dầu lỏng ở nhiệt độ phòng (20°C):



Hình 9: Biểu đồ pha hệ Lidocaine- Prilocaine.

Dạng dầu lỏng tinh khiết này không chứa dung môi pha loãng, cho phép nồng độ hoạt chất đạt mức tối đa, giúp thuốc thẩm thấu sâu qua các lớp biểu bì da một cách dễ dàng, mang lại hiệu quả gây tê bề mặt vượt trội trước khi thực hiện các thủ thuật tiêm, laser hoặc tiểu phẫu.

3. Dung môi Eutecti sâu (Deep Eutectic Solvents - DES) trong hóa dược:

DES là một phân nhóm hệ eutecti thế hệ mới, thường được tạo thành bằng cách phối hợp một chất nhận liên kết hydro (như Choline chloride) với một chất cho liên kết hydro (như Urea, Glycerol, Acid citric).

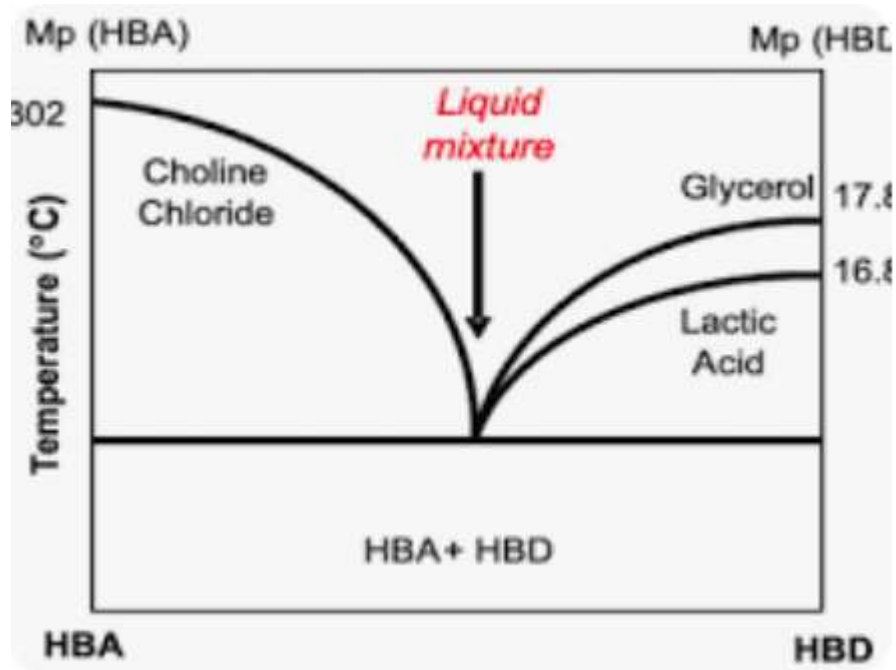
Điểm đặc biệt của DES là có sự sụt giảm nhiệt độ nóng chảy cực kỳ lớn (vài trăm độ C) do mạng lưới liên kết hydro dày đặc làm bền hóa pha lỏng. DES đang được ứng dụng mạnh mẽ làm dung môi xanh thân thiện với môi trường để chiết tách các hợp chất thiên

nhiên có hoạt tính sinh học từ dược liệu (như polyphenol, alkaloid) với hiệu suất cao và độ tính bằng không.

Giả sử có hoạt chất ít tan: Curcumin.

Mục tiêu: tăng độ tan, tăng hấp thu

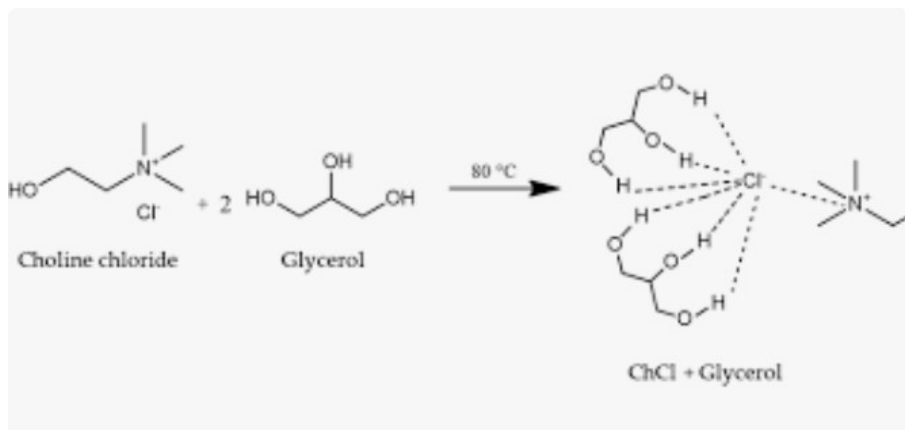
Chọn DES: Choline chloride : glycerol=1:2



Hình 10: Giảm độ pha hệ HBA- HBD.

Kết quả: curcumin tan tốt hơn, dễ tạo gel bôi, tăng khả năng giải phóng hoạt chất

Đây là lý do DES được nghiên cứu nhiều trong: công nghệ thuốc, bào chế, hóa dược xanh, chiết xuất dược liệu



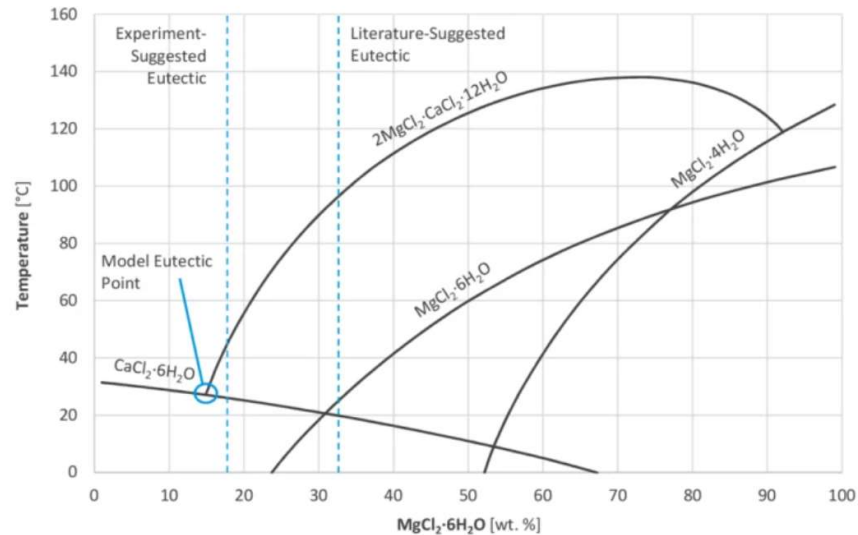
Hình 11: Sự tạo liên kết hydro trong dung dịch.

IV. ỨNG DỤNG TRONG SẢN XUẤT VÀ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG

1. Vật liệu tích trữ năng lượng chuyển pha (Phase Change Materials - PCM)

Để tối ưu hóa việc quản lý nhiệt lượng trong các tòa nhà thông minh và các hệ thống lưu trữ năng lượng mặt trời, người ta sử dụng các hỗn hợp muối ngậm nước eutecti.

Hệ eutecti của các muối vô cơ ngậm nước như $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ được thiết kế để có nhiệt độ chuyển pha chuẩn xác quanh mức 21°C – 25°C (ngưỡng nhiệt độ dễ chịu cho con người).



Modeled Binary Phase Diagram of the $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ System.

Hình 12: Biểu đồ pha hệ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Vào ban ngày, khi nhiệt độ môi trường tăng lên, vật liệu eutecti này sẽ hấp thụ một lượng lớn nhiệt lượng từ môi trường để nóng chảy đẳng nhiệt, giữ cho không gian phòng luôn mát mẻ.

Ban đêm, khi nhiệt độ hạ xuống, hệ eutecti tỏa nhiệt kết tinh để sưởi ấm căn phòng, giúp tiết kiệm năng lượng điện cho hệ thống điều hòa không khí.

2. Vật liệu tích trữ năng lượng nhiệt (Solar Salt)

Muối nung chảy eutecti là một trong những vật liệu lưu trữ nhiệt quan trọng nhất trong các nhà máy điện mặt trời tập trung (Concentrated Solar Power – CSP). Điểm mạnh của hệ eutecti là nhiệt độ nóng chảy thấp hơn các cấu tử riêng lẻ, giúp giảm nguy cơ đông đặc trong đường ống và tăng hiệu quả tích trữ nhiệt.

Trong nhà máy CSP, gương phản xạ tập trung ánh sáng lên bộ thu nhiệt để làm nóng môi chất truyền nhiệt. Muối eutecti thường đảm nhận hai chức năng: môi chất tải nhiệt và vật liệu tích trữ năng lượng nhiệt.

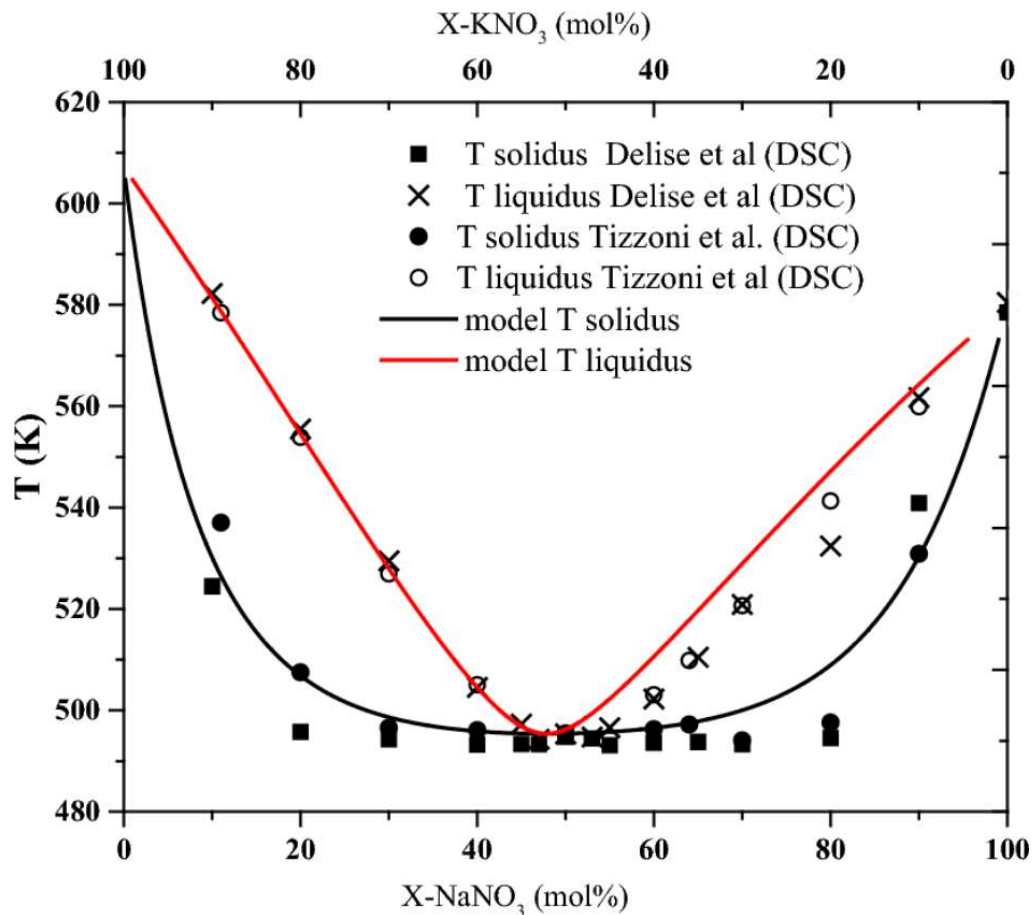
Quá trình cơ bản: Ánh sáng mặt trời → thu nhiệt → làm nóng muối nóng chảy → lưu trữ trong bể nóng → phát điện khi cần → muối nguội quay lại bể lạnh.

Ưu điểm lớn là cho phép phát điện cả khi không có nắng.

Nếu dùng muối đơn chất thường có: nhiệt độ nóng chảy cao, dễ kết tinh gây tắc ống, khó vận hành mùa lạnh.

Còn khi dùng hệ eutecti giúp: giảm nhiệt độ nóng chảy, mở rộng khoảng vận hành, giảm tiêu hao gia nhiệt chống đông, tăng độ ổn định nhiệt.

Hệ eutecti phổ biến nhất: Solar Salt



Hình 13: Giản đồ pha hệ NaNO₃ - KNO₃.

Thành phần: 60 wt% NaNO₃ và 40 wt% KNO₃

Đặc điểm:

- nóng chảy khoảng 220°C,

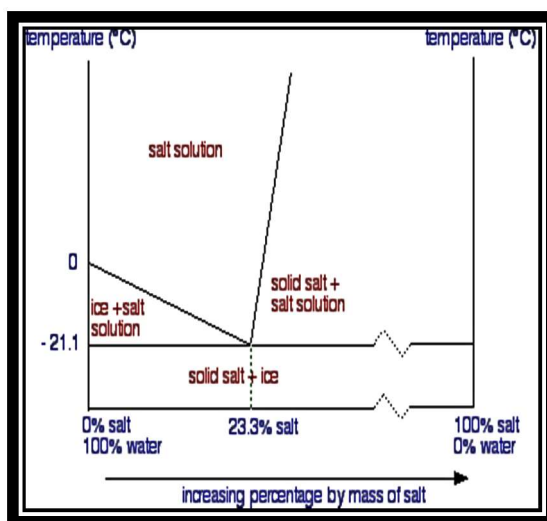
- ổn định tới khoảng 565°C,
- giá thành tương đối thấp,
- ít ăn mòn hơn chloride nóng chảy.

Đây là hỗn hợp được dùng rất rộng rãi trong các tháp CSP.

V. ỨNG DỤNG TRONG ĐỜI SỐNG

1. Công nghệ chống đóng băng giao thông

Ở các quốc gia ôn đới, việc rải muối lên mặt đường mùa đông để làm tan băng dựa trên nguyên lý hạ nhiệt độ đông đặc của hệ eutecti nước - muối. Hệ hai cấu tử H₂O–NaCl có điểm eutecti tại –21,1°C với nồng độ 23,3% NaCl.



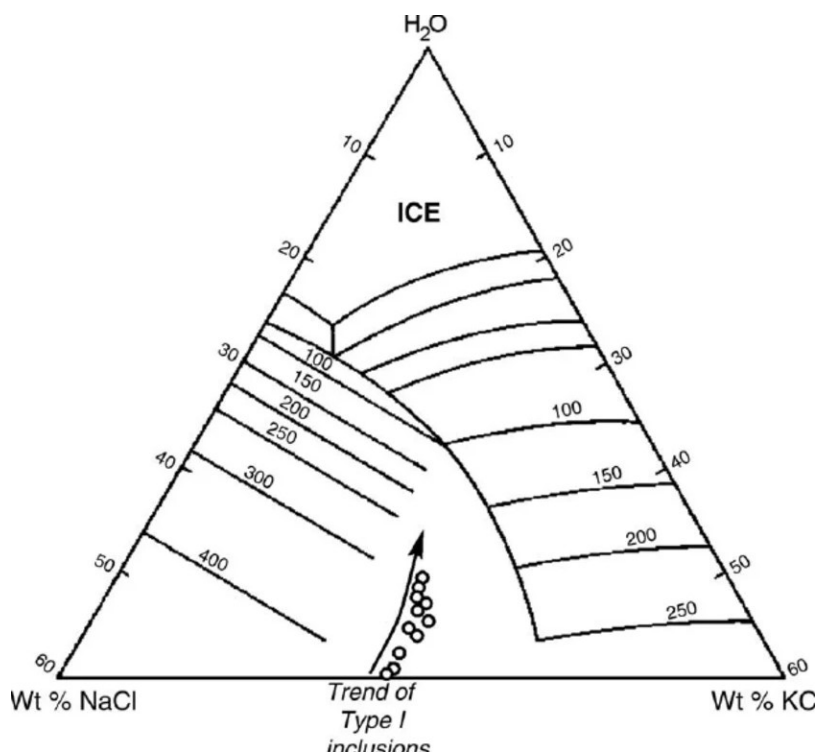
Hình 14: Biểu đồ pha hệ H₂O - NaCl.

Khi rải muối lên mặt băng, một lượng nhỏ nước đá tan ra tạo dung dịch muối, dung dịch này tiếp tục hòa tan băng xung quanh vì nhiệt độ đông đặc của hệ đã bị kéo hạ xuống dưới 0°C, giúp giải phóng bề mặt đường giao thông huyết mạch, ngăn chặn tai nạn do trơn trượt.

Ứng dụng: Rải muối chống đóng băng trên các tuyến đường giao thông huyết mạch. Bảo quản lạnh. Kỹ thuật làm kem lạnh...

2. Sản xuất muối potassium

Hệ NaCl–KCl–H₂O là hệ rất quan trọng trong: công nghệ muối, hóa học dung dịch, công nghệ lạnh.



Hình 15: Giản đồ pha hệ NaCl-KCl- H₂O.

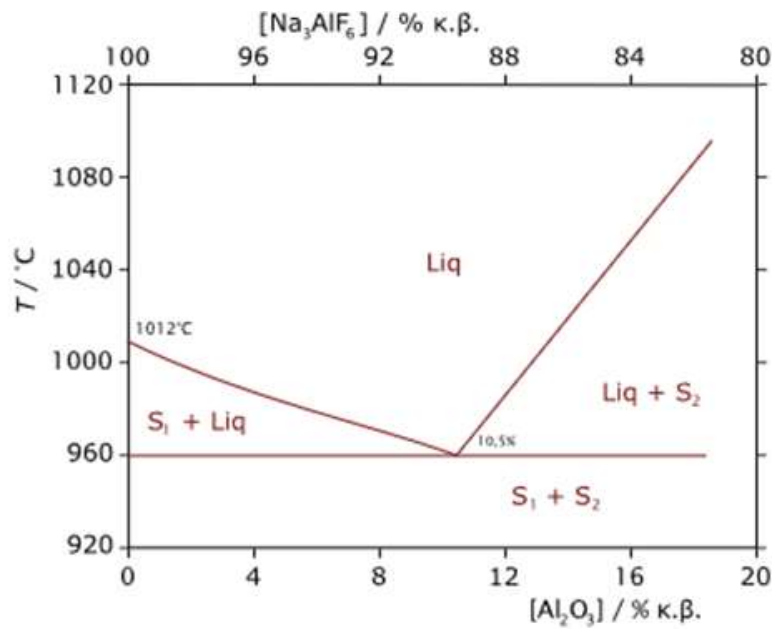
Ứng dụng: Sản xuất muối kali, điều chế phân bón, công nghệ kết tinh.

Các nhà máy sản xuất KCl từ nước biển hoặc quặng sylvinit thường dựa trên giản đồ pha của hệ này.

3. Sản xuất nhôm

Nhôm được sản xuất từ quặng bauxite đi qua một số giai đoạn và theo qui trình Hall-Héroult.

Ở giai đoạn quan trọng nhất, điện phân nóng chảy Al₂O₃ để thu được Al tinh khiết, Al₂O₃ được trộn với cryolite tạo thành hỗn hợp eutecti (10,5% Al₂O₃ theo khối lượng), từ đó làm giảm nhiệt độ nóng chảy của hệ xuống còn khoảng 960⁰C (nhiệt độ nóng chảy của Al là gần 2050⁰C), tăng độ dẫn điện của dung dịch và tăng hiệu suất điện phân. Đồng thời cryolite nhẹ hơn Al, nổi lên trên nhôm, do đó bảo vệ nhôm không phản ứng hóa học với oxygen trong không khí.

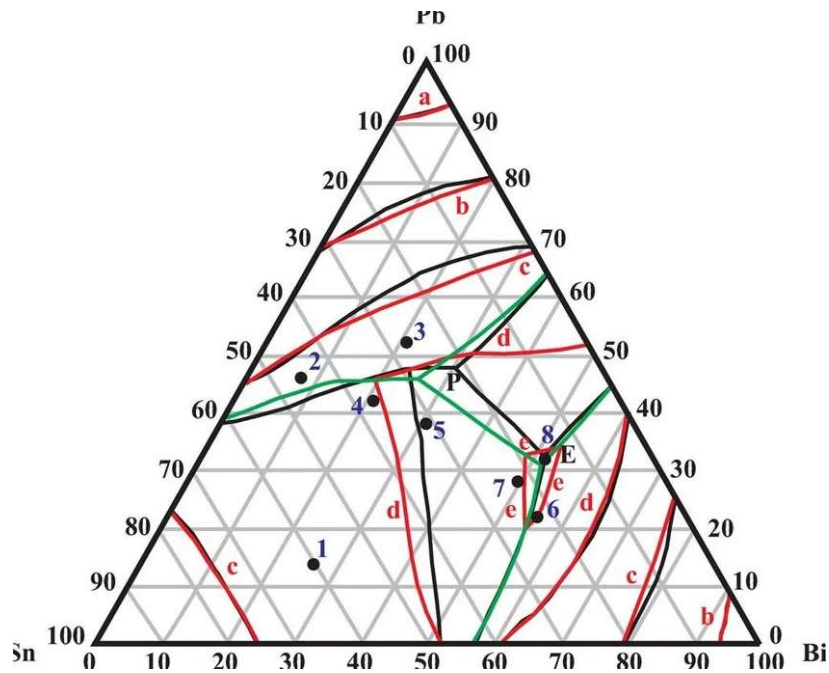


Hình 16: Biểu đồ pha hệ $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$.

4. Sản xuất hợp kim có nhiệt độ nóng chảy thấp (cầu chì, sprinkler)

Hệ Pb-Sn-Bi: Đây là hệ hợp kim có nhiệt độ nóng chảy thấp.

Ưu điểm: Nóng chảy nhanh. Dễ đúc. Ít tiêu hao năng lượng.



Hình 17: Biểu đồ pha hệ Sn- Pb- Bi.

Ứng dụng sản xuất: Cầu chì nhiệt. Hợp kim an toàn. Thiết bị chữa cháy tự động.

Một số cầu chì nhiệt trong hệ thống sprinkler chữa cháy sử dụng hợp kim eutectic Pb-Sn-Bi.

Khi nhiệt độ tăng cao, hợp kim nóng chảy làm kích hoạt cơ cấu phun nước.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu về điểm eutecti trong các hệ 2 và 3 cấu tử là một câu hỏi quan trọng giữa lý thuyết nhiệt động học cân bằng pha và thực tiễn sản xuất ứng dụng.

Bản chất bậc tự do vô biến ($f = 0$) tại điểm eutecti đem lại tính ổn định tuyệt đối về nhiệt độ chuyển pha và thành phần hóa học, tạo tiền đề để con người chủ động thiết kế các loại vật liệu có tính chất mong muốn. Từ các môi hàn cơ khí siêu bền trong ngành điện tử vũ trụ, các dạng thuốc giải phóng nhanh nâng cao sinh khả dụng trong y học, cho đến các hệ dung môi xanh DES và vật liệu PCM bảo vệ môi trường.

Sự hiểu biết về điểm eutecti giúp các nhà khoa học:

- Thiết kế hợp kim có nhiệt độ nóng chảy phù hợp.
- Điều khiển quá trình kết tinh và vi cấu trúc vật liệu.
- Tăng độ bền cơ học, khả năng chống ăn mòn và tính dẫn điện.
- Tối ưu hóa công nghệ sản xuất trong công nghiệp.
- Nghiên cứu các hệ dung môi eutecti sâu (Deep Eutectic Solvents – DES) phục vụ tổng hợp xanh.

Tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu và tìm hiểu thêm về hệ eutecti và ứng dụng của các hệ ba cấu tử, bốn cấu tử để mở rộng phạm vi ứng dụng trong vật liệu tiên tiến và công nghệ hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Ngọc Bùng (Chủ biên), *Hóa lý dược*, NXB Y học 2018
2. Nguyễn Danh Nhi, Nguyễn Hữu Hùng, *Cân bằng pha và hóa keo*, NXB GTVT 2001
3. Nguyễn Hữu Phú, *Hóa lý và hóa keo*, NXB KHKT 2009
4. William D.callister, David G.Rethwisch, *Materrials science and engineering*, Wiley
5. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11015381/>