

## TRAO ĐỔI NHIỆT TRONG CHẤT LỎNG VỚI NGUỒN NHIỆT DI ĐỘNG

VŨ DUY QUANG

Nghiên cứu trao đổi nhiệt đối lưu trong chất lỏng với nguồn nhiệt di động có một ý nghĩa quan trọng. Về mặt lý thuyết cho ta khả năng khảo sát một lớp bài toán đối lưu nhiệt hoàn toàn mới. Trên cơ sở đó, về mặt công nghệ, có thể cho ta những sơ đồ mới về thu hồi nhiệt khi đốt cháy và gia công các phế liệu công, nông nghiệp, các nhiên liệu có năng lượng thấp. Việc lấy nhiệt và truyền nó đi từ nguồn nhiệt đến chất tải nhiệt trung gian có thể thực hiện bằng đối lưu tự nhiên hay đối lưu hỗn hợp.

### §1. NGUỒN NHIỆT DI ĐỘNG

Người ta đã phát hiện ra các quá trình cháy không có ôxy cực kỳ thú vị và hoàn toàn mới [1]. Những chất tham gia phản ứng là bột kim loại (như Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, v.v...) và chất ôxy hóa (như B, C, Si ...). Nhờ có kích phản ứng cực bộ ban đầu, sự tự lan truyền (dạng sóng) đã được thực hiện, khi phản ứng hóa học tập trung tại một vùng, mà vùng này di chuyển dọc theo hỗn hợp bột. Một điểm đặc biệt là trong quá trình cháy này hầu như không tỏa khí và tạo ra sản phẩm hoàn toàn tích tụ. Trong pha này nhiệt độ có thể tăng rất cao (đến 4000°K). Khả năng của cháy yếm khí như vậy là nhờ sự tỏa nhiệt rất lớn trong phản ứng hóa học và sự ổn định nhiệt của sản phẩm.

Việc nghiên cứu hiện tượng cháy này đã thu hút rất nhiều sự chú ý của các nhà lý thuyết cũng như các kỹ sư, bởi vì nó có những ưu điểm: nhiệt độ rất cao trong pha tích tụ (mà rất khó đạt được bằng các phương pháp khác), nhiệt dung lớn của sản phẩm cháy, các giá trị hằng số trao đổi chất thấp, sự chuyển pha ở nhiệt độ cao, v.v...

Ngoài ra trong các quá trình trên đã diễn ra sự tổng hợp hóa học "không có chất thải" của các chất khó nóng chảy bôrit, cacbít, silicit, nitrit, những chất này là cơ sở của một loạt nguyên liệu vô cơ hiện đại có những tính chất rất quý và hiếm như siêu cứng, siêu dẫn, chịu nóng, chịu lửa, v.v... có khả năng làm việc trong những điều kiện cực trị. Các phương pháp dùng lò luyện hiện nay không đáp ứng được yêu cầu bởi vì chúng đòi hỏi năng lượng rất lớn, hiệu suất kém và không phải khi nào cũng đảm bảo chất lượng cần thiết của nguyên liệu.

Trên cơ sở của những quá trình cháy không có ôxy, người ta đã tìm ra phương pháp mới để tạo ra các hợp chất khó nóng chảy và các nguyên liệu mới. Phương pháp đó được gọi tên là sự tổng hợp các chất ở nhiệt độ cao bằng cách tự lan truyền (viết tắt là SHS - Self - propagation High - temperature synthesis). Những ưu việt của phương pháp SHS là: tốn phí năng lượng bên ngoài không đáng kể, thiết bị đơn giản, quá trình xảy ra nhanh, hiệu suất cao, sản phẩm thu được rất sạch, v.v...

Quá trình SHS diễn ra trong bình kín hơi. Thể tích của nó đủ lớn để áp suất ở đó thay đổi không đáng kể trong quá trình. Trong bình là chân không, khí trơ hay khí phản ứng. Kích phản

ứng bằng đốt nóng dây điện trở hay bằng những thiết bị đốt cháy đặc biệt.

Có hai phương pháp phổ biến tiến hành SHS:

1/ Mẫu là một hỗn hợp bột những chất phản ứng (để bình thường hoặc nén), hỗn hợp dạng kim loại - cacbon (M-C); kim loại - bo (M-B); hỗn hợp chất hữu cơ. Quá trình diễn ra trong chân không hay trong môi trường khí trơ. Tổng hợp xảy ra nhờ các phản ứng trong pha tích tụ.

2/ Mẫu chỉ gồm bột của một chất phản ứng, còn chất kia ở trạng thái khí (như N). Để thực hiện quá trình cần có tác dụng tương hỗ hóa học giữa hạt rắn với chất khí bằng sự thấm khí qua các lỗ xốp của mẫu.

## §2. HỆ PHƯƠNG TRÌNH

Khảo sát sự lan truyền sóng cháy không dừng dọc theo hình trụ, bán kính  $R_1$  chứa chất tích tụ (chất - K). Chiều dày vỏ hình trụ là  $h$  (hình 1). Coi sản phẩm cháy cũng là chất K và có các tính chất vật lý nhiệt cũng giống như hỗn hợp ban đầu. Quy luật truyền sóng tổng hợp và cấu trúc sóng được biểu diễn bởi phương trình dẫn nhiệt có nguồn nhiệt và phương trình động học [2].

Bài toán liên hợp được biểu diễn bởi hệ phương trình:

Đối với hỗn hợp:

$$\begin{aligned} \rho C \frac{\partial T}{\partial t} &= \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q \rho \phi(T, \eta); \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} &= \phi(T, \eta). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Đối với vỏ:

$$\rho_1 C_1 \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial T}{\partial y} \right). \quad (2.2)$$

Các điều kiện ban đầu và các điều kiện biên

$$\begin{aligned} t = 0: \quad \eta &= 0; \quad T = T_0, \quad \text{khi } x > 0; \\ x = 0: \quad \eta &= 1; \quad T = T_{ag}; \quad R_1 < y < R_1 + h; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \\ y = 0: \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} &= 0; \quad x = \ell: \quad \eta = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad \text{hay } T = T_0; \\ y = \bar{R}_1: \quad T|_{R_1-0} &= T|_{R_1+0}; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}|_{R_1-0} = -\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial y}|_{R_1+0}; \\ y = R_1 + h: \quad \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial y} &= \alpha(T - T_\infty). \end{aligned}$$

Giải hệ phương trình trên khá phức tạp. Ở đây ta đánh giá gần đúng xem đối lưu tự nhiên phát triển như thế nào xung quanh nguồn nhiệt hình trụ này, khi coi lớp vỏ dẫn nhiệt rất mỏng.

## §3. SỰ PHÁT TRIỂN CỦA ĐỐI LƯU TỰ NHIÊN

Ta khảo sát định tính sự phát triển của đối lưu tự nhiên trong chất lỏng được đốt nóng bởi sóng cháy tự lan truyền. Vận tốc chuyển động  $v$  của mặt sóng SHS ổn định và những đặc tính khác của nó làm cho mặt sóng trở thành một nguồn nhiệt di động rất tốt.

Nguồn nhiệt trong phương trình (2.1) lấy dưới dạng:

$$\phi(T, \eta) = k_0(1 - \eta)^n \exp(-E/RT) \quad (3.1)$$

Trong đó  $k_0$  - hằng số vận tốc phản ứng;  $\eta$  - nồng độ;  $n$  - bậc phản ứng;  $E$  - năng lượng hoạt hóa;  $R$  - hằng số chất khí.

Để có được lớp vỏ dẫn nhiệt mỏng (2.2) ta tổng hợp SHS hỗn hợp bột hai chất hữu cơ (a xit ma lô nic -  $C_3H_4O_4$  và pi pê ra zin -  $C_4H_{10}N_2$ ). Đối với hỗn hợp này có các đặc trưng sau đây [3]: lượng tỏa nhiệt chung  $Q = 260 \text{ KJ/kg}$ ; nhiệt dung  $C = 2000 \text{ J/kg}$ ; hệ số dẫn nhiệt  $\lambda = 0,40 \text{ J/m.s.độ}$ ; nhiệt độ cháy  $T = 155^\circ\text{C}$ ; vận tốc cháy  $v = 1 \text{ mm/s}$ . Vận tốc tăng nhiệt độ đối với các hỗn hợp hữu cơ  $50^\circ \text{ K/s}$ .

Từ phân tích phương trình dẫn nhiệt (2.1), (3.1) [5] suy ra chiều dày của lớp vỏ bị cháy dưới vùng phản ứng theo hướng vuông góc với vận tốc cháy có bậc:

$$S = (a_f a_i)^{1/2} / v,$$

trong đó  $a = \lambda / \rho C$  - hệ số dẫn nhiệt độ;  $f$  - chỉ số hỗn hợp;  $i$  - chỉ số của vỏ;  $v$  - vận tốc cháy. Chiều dày của lớp vỏ mỏng nếu  $h < S$  [5], ( $h$  - chiều dày vỏ).

Trong trường hợp ta khảo sát  $h = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ,  $S = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ , nghĩa là lớp vỏ có thể coi là mỏng.

Độ dày tới hạn của lớp hỗn hợp theo [5]:  $h_e = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  (độ dày lớp khảo sát ở đây là  $19 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ).

Ta đánh giá xem mặt sóng SHS chuyển động trong hình trụ có vỏ mỏng như trên sẽ ảnh hưởng như thế nào đến sự phát triển của đối lưu tự nhiên (hình 1).

Có thể chia thành 3 giai đoạn trao đổi nhiệt theo thời gian khi xuất hiện sự chênh lệch nhiệt độ giữa vật và môi trường xung quanh: đầu tiên là dẫn nhiệt, tiếp đó sẽ cộng thêm đối lưu với cường độ yếu và sau một khoảng thời gian khá dài, đối lưu tự nhiên phát triển sẽ được thiết lập.

Từ lý thuyết đối lưu tự nhiên (EK) [4] ta có thể viết được biểu thức cho quãng thời gian mà sau đó EK được thiết lập quanh vật nóng đặt trong chất lỏng

$$\tau_0 = \Phi(Pr)(\ell/g\beta\Delta T)^{1/2}$$

trong đó  $\Phi(Pr)$  - hàm của số Prandtl. Theo [4] hàm đó có dạng

$$\Phi(Pr) = 5,25(0,952 + Pr)^{1/2}.$$

Thời gian chuyển động của mặt SHS:  $\tau = \ell/v$ , trong đó:  $v$  - vận tốc chuyển động của mặt sóng.

Để thấy rõ những quá trình thực xảy ra trong sự phát triển EK bởi nguồn nhiệt di động ta vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc  $\tau(\ell)$  cho thời gian chuyển động của mặt sóng (1) và thời gian phát triển của đối lưu tự nhiên (2). Từ hình 2 ta thấy tồn tại các giá trị  $\ell_*$  và  $\tau_{0*}$  khi mà vận tốc chuyển động của mặt sóng bằng vận tốc phát triển của đối lưu tự nhiên. Trong miền  $\ell < \ell_*$  EK không kịp phát triển. Khi  $\tau = \tau_0$ , ta sẽ có biểu thức của  $\ell_*$  đặc trưng cho tỷ lệ trễ của đối lưu tự nhiên so với mặt sóng:

$$\ell_*/v = \Phi(Pr)(\ell_*/g\beta\Delta T)^{1/2}$$

hay là

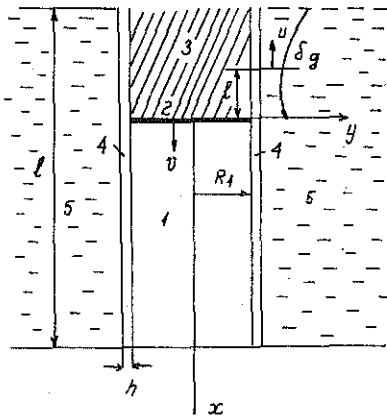
$$\ell_* = \Phi(Pr)v^2/g\beta\Delta T.$$

Như vậy đối với nguồn nhiệt di động ta có thể chia sự phát triển của đối lưu tự nhiên theo thời gian thành 3 giai đoạn: lúc đầu quá trình dẫn nhiệt là chủ yếu, tiếp sau nó là vùng quá độ ( $\ell \leq \ell_*$ ).

Thứ hai - giai đoạn phát triển của đối lưu tự nhiên mà nó chịu ảnh hưởng của mặt sóng chuyển động. Đặc trưng của miền này là  $l \approx l_*$  và tỷ lệ vận tốc mà nó bằng vận tốc cháy là quyết định.

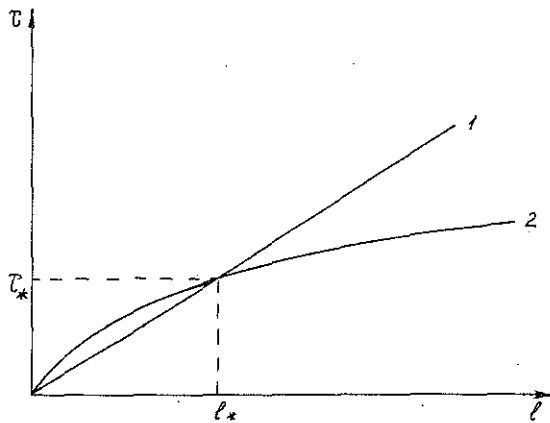
Thứ ba - vùng đối lưu tự nhiên phát triển dừng, khi đối lưu không phụ thuộc vào mặt sóng chuyển động  $l \gg l_*$ .

Trên hình 3 vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của thời gian phát triển đối lưu tự nhiên vào thời gian chuyển động mặt sóng SHS cho một số chất lỏng. Từ đó cho phép lựa chọn chất lỏng mà trong đó có thể quan sát được các quá trình ta quan tâm.



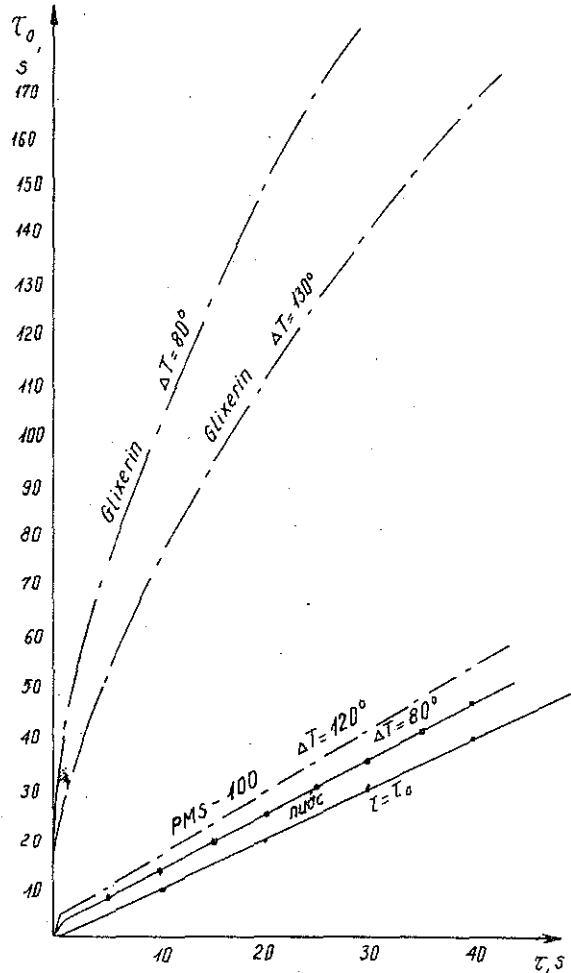
Hình 1. Sơ đồ khảo sát

1. hỗn hợp ban đầu, 2. miền tỏa nhiệt, 3. sản phẩm của phản ứng, 4. vỏ hình trụ, 5. chất lỏng



Hình 2

Sự phụ thuộc  $\tau(l)$  của chuyển động mặt sóng (1) và sự phát triển đối lưu tự nhiên (2)



Hình 3

Độ trễ của đối lưu tự nhiên so với chuyển động của mặt sóng SHS

Trong đối lưu tự nhiên, khi chuyển động của chất lỏng hoàn toàn được xác định bởi quá trình trao đổi nhiệt, ta không thể khảo sát lớp biên nhiệt và lớp biên động học một cách độc lập. Khi  $Pr \gg 1$  miền biểu hiện rõ nét dẫn nhiệt phân tử bằng hay nhỏ hơn miền biểu hiện rõ nét nhớt phân tử [4]:

$$\delta_{g*} / \delta_{t*} = Pr^{1/2},$$

trong đó

$$\delta_{g*} = l_* / Gr_*^{1/4}.$$

Trong bảng 1 đưa ra các kết quả số của  $l_*$ , độ dày lớp biên động học  $\delta_{q*}$  và lớp biên nhiệt  $\delta_{t*}$  tính cho nước, glixerin và dầu mác PMS - 100 với những độ chênh nhiệt độ khác nhau.

Bảng 1

T °C	Nước $Pr = 7; Ec = 10^{-9}$			Glixerin $Pr = 12465, Ec = 10^{-6}$			PMS - 100 $Pr = 185, Ec = 10^{-8}$		
	$l_*$ , mm	$\delta_{q*}$ , mm	$\delta_{t*}$ , mm	$l_*$ , mm	$\delta_{q*}$ , mm	$\delta_{t*}$ , mm	$l_*$ , mm	$\delta_{q*}$ , mm	$\delta_{t*}$ , mm
130	-	-	-	52	98	0,88	4,67	25,9	1,91
100	-	-	-	67	111	0,99	6,07	30	2,2
80	1,53	10,4	3,9	84	125	1,12	7,59	33,2	2,44
60	2,04	12,05	4,5	112	144	1,44	10,12	38,34	2,81

Như vậy, phương pháp vừa trình bày ở trên không những cho phép tiến hành phân tích sự phát triển của đối lưu tự nhiên bởi nguồn nhiệt SHS mà còn cho phép lựa chọn chất lỏng (điều kiện trong đó có thể quan sát được các quá trình ta quan tâm) và nguồn nhiệt (thành phần cụ thể của SHS). Điều này cho ta khả năng nghiên cứu một lớp bài toán mới có liên quan đến đối lưu dưới tác dụng của nguồn nhiệt di động - mặt sóng SHS.

Xác nhận - Công trình này được hoàn thành với sự hỗ trợ của chương trình nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực khoa học tự nhiên.

Địa chỉ:

Trường đại học Bách khoa HN

Nhận ngày 1/6/1994

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Merjanov A. G. et al. Paten No 255221, 1967.
2. Merjanov A. G. SHS M. 1983.
3. Shulman et al. Preprint No 26, Minsk 1990.
4. Martynenko O. G. et al. EK transfer Minsk 1982.
5. Рыбанин С. С., Соболев С. Л. ДАН СССР Т. 269, № 6, 1983. С. 1394-1398.

## SUMMARY

### HEAT TRANSFER OF FLUID WITH A MOVING HEAT SOURCE

Investigation of free convection in fluid heated by front combustion synthesis is presented. Characteristic parameter for problem is received.

Three stages of development of free convection are distinguished.