

QUAN HỆ GIỮA NỒNG ĐỘ BỒ HÓNG VÀ VÀ NỒNG ĐỘ NO_x TRONG SẢN PHẨM CHÁY Lò CÔNG NGHIỆP

CORRELATION BETWEEN SOOT AND NO_x CONCENTRATIONS IN COMBUSTION PRODUCTS OF INDUSTRIAL FURNACE

Bùi Văn Ga¹, Dương Việt Dũng¹, Lê Văn Lữ²

¹ Trường Đại học Bách Khoa-Đại học Đà Nẵng

² Trường Đại học Bách Khoa-Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Nghiên cứu thực nghiệm về quan hệ giữa nồng độ bồ hóng và NO_x trong sản phẩm cháy của lò công nghiệp sử dụng dầu DO được tiến hành nhờ Visioscope và máy phân tích khí Diagas AVL. Kết quả cho thấy nhiệt độ buồng đốt và thành phần hỗn hợp đóng vai trò quan trọng trong hình thành bồ hóng và NO_x. Nhiệt độ cao là nguyên nhân làm gia tăng đồng thời tốc độ sản sinh bồ hóng và NO_x trong khi đó độ đậm đặc hỗn hợp gây biến thiên trái ngược nhau của nồng độ hai chất ô nhiễm này.

ABSTRACT

Experimental study about correlation between concentrations of soot and NO_x in combustion products of industrial furnace using DO is carried out thanks to the Visioscope and Gas Analyzer Diagas AVL. The results show that temperature of combustion chamber and mixture equivalent ratio have important effect on soot and NO_x concentrations. High temperature is the cause of simultaneous increasing of soot and NO_x formation speeds whereas equivalent ratio gives inverse evolution of these two values.

I. GIỚI THIỆU

Bồ hóng và NO_x là hai chất ô nhiễm đặc biệt trong khí thải của lò công nghiệp. Cơ chế hình thành bồ hóng đã được mô tả trong các công trình [1]. Theo đó bồ hóng hình thành chủ yếu tại vùng có nhiệt độ cao và giàu nhiên liệu. Sau khi tạo thành, chúng bị oxy hóa nếu gặp oxy thừa trong hỗn hợp. Do đó lượng bồ hóng có mặt trong khí thải thấp hơn nhiều so với lượng bồ hóng tại nơi chúng hình thành trong ngọn lửa. Tốc độ sản sinh bồ hóng trong ngọn lửa có thể biểu diễn bằng biểu thức:

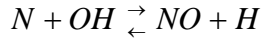
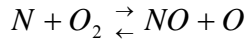
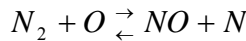
$$S_s = S_f - S_c$$

Trong đó S_s là tốc độ sản sinh bồ hóng, S_f là tốc độ hình thành bồ hóng và S_c là tốc độ cháy bồ hóng. Các giá trị S_f , S_c được tính thông qua nồng độ cục bộ của bồ hóng, nồng độ nhiên liệu, nồng độ oxy, nhiệt độ [7]. Như vậy nồng độ bồ hóng còn lại trong sản phẩm cháy phụ thuộc vào các điều kiện thuận lợi hay bất lợi đối với S_f , S_c .

Trên thực tế, quá trình đốt cháy nhiên liệu trong lò công nghiệp thường xảy ra trong điều kiện khuếch tán với sự hoà trộn nhiên liệu-không khí diễn ra ngay trong buồng cháy, khi đó sự phân bố nhiên liệu không đồng nhất dẫn đến việc hình thành các trung tâm tạo bồ hóng [7], nên nồng độ bồ hóng là đáng kể trong sản phẩm cháy. Nếu sử dụng nhiên liệu khí, sự hòa trộn đồng nhất diễn ra nhanh chóng do không cần giai đoạn bốc hơi nhiên liệu nên các khu vực hình thành bồ hóng hạn chế. Trái lại nếu sử dụng nhiên liệu lỏng, đặc biệt nhiên liệu nặng, quá trình biến bụi và bốc hơi nhiên liệu có ý nghĩa quan trọng trong việc đảm bảo tính đồng nhất của hỗn hợp trước khi cháy. Nếu thời gian hòa trộn dài hơn thời gian cháy, các khu vực đậm đặc cục bộ được hình thành và đó là nguyên nhân phát sinh bồ hóng trong khí thải của lò.

Khác với bồ hóng, NO_x sinh ra ở khu vực hỗn hợp nghèo và nhiệt độ cao [2], [3], [6]. Do thời gian đạt giá trị cân bằng kéo dài nên nồng độ

NO_x trong hỗn hợp được tính toán theo các mô hình động học phản ứng trong đó mô hình Zeldovich được sử dụng rộng rãi:

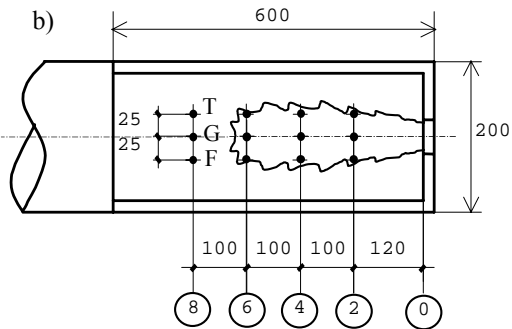
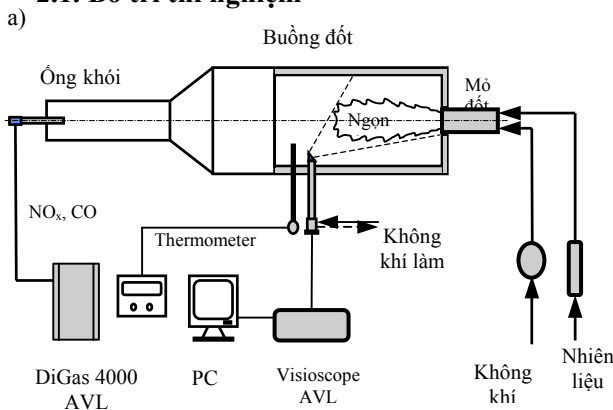


Trong mô hình trên, họ NO_x được xem chủ yếu là NO, chất chiếm đại bộ phận trong oxide nito. Tuy NO không độc nhưng nó là chất trung gian để hình thành các chất độc, đặc biệt là NO₂. Phản ứng tạo NO₂ từ NO diễn ra ngay trong màng lửa. Nếu sau khi hình thành mà NO₂ được làm lạnh ngay thì chất ô nhiễm này tồn tại trong sản phẩm cháy. Ngược lại, nếu nhiệt độ vùng phản ứng được duy trì thì NO₂ sẽ bị phân giải thành NO. Vì vậy sự phân bố nhiệt độ và thành phần hỗn hợp trong buồng cháy ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành NO_x nói chung và NO₂ nói riêng.

Như vậy về mặt lý thuyết bỏ hóng và NO_x được hình thành từ các cơ chế khác biệt nhau. Tuy nhiên từ những phân tích trên đây, chúng ta có thể xác định được hai yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng chung đến nồng độ của chúng, đó là sự phân bố nồng độ nhiên liệu và nhiệt độ trong buồng cháy. Vì vậy, công trình này tập trung nghiên cứu biến thiên của nồng độ bỏ hóng và NO_x trong sản phẩm cháy của lò công nghiệp theo thành phần hỗn hợp và nhiệt độ lò bằng thực nghiệm, trên cơ sở đó xem xét khả năng xác lập mối quan hệ giữa nồng độ của chúng nhằm tìm kiếm các giải pháp kỹ thuật hạn chế mức độ phát thải khí ô nhiễm của các lò công nghiệp.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Bố trí thí nghiệm



Hình 1: Sơ đồ bố trí thí nghiệm (a) và vị trí lấy mẫu để đo nồng độ NO_x cục bộ (b)

Thực nghiệm được tiến hành trên lò thí nghiệm có buồng đốt $\phi 200 \times 600$, buồng nung $\phi 200 \times 220$ và ống khói $\phi 90 \times 500$ mm. Mô đốt dầu nhẹ biến bụi c học loại Minor-6 của Hãng Ecoflam - Italy được sử dụng để tạo ngọn lửa. S đồ bố trí tổng quát thí nghiệm được trình bày trên hình 1a.

Dụng cụ đo gồm:

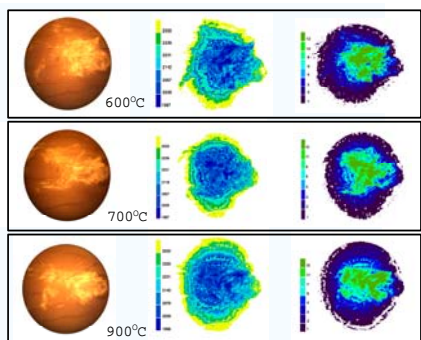
- Thiết bị phân tích ngọn lửa bằng phương pháp quang học Visioscope AVL. Thiết bị này chụp ảnh ngọn lửa bằng phương pháp số với độ phân giải 640×480 pixels; camera có góc nghiêng 30° và 60° , góc mở 80° , được làm mát bằng khí nén với áp suất $P = 6$ bar. Dữ liệu ghi nhận bởi Visioscope được đưa vào bộ nhớ máy tính và được xử lý bằng phần mềm chuyên biệt theo phương pháp hai bước sóng. Kết quả phân tích cho chúng ta sự phân bố nồng độ bỏ hóng và nhiệt độ trong ngọn lửa [8], [9].
- Thiết bị phân tích khí thải AVL Digas 4000 cho phép xác định được nồng độ các chất CO₂, CO, HC, NO_x.
- Dụng cụ đo lưu lượng không khí và nhiên liệu

Hệ số dư lượng không khí tổng quát được điều chỉnh $\alpha = 0,75; 1,0; 1,25$. Quá trình đo được thực hiện khi nhiệt độ lò đạt 600°C , 700°C , 800°C và 900°C . Hình 1b giới thiệu các vị trí lấy mẫu để đo NO_x cục bộ.

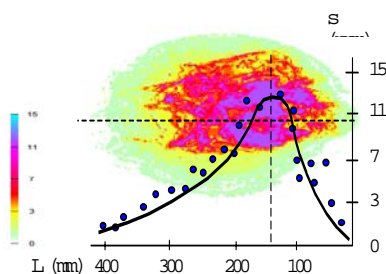
2.2. Đo nồng độ bỏ hóng

Hình 2 giới thiệu một kết quả tiêu biểu cho bởi visioscope về ảnh chụp ngọn lửa, trường nhiệt độ và sự phân bố nồng độ bỏ hóng khí $\alpha=1$ và nhiệt độ lò ở $600, 700$ và 900°C . Nhiệt độ và nồng độ bỏ hóng được tính từ bức xạ của ngọn lửa theo phương pháp hai bước sóng [8]. Bằng phần mềm PhotoDelux, chúng ta có thể thay

đổi màu nền của kết quả để xác định giá trị cực bộ của nồng độ bồ hóng (hình 3).



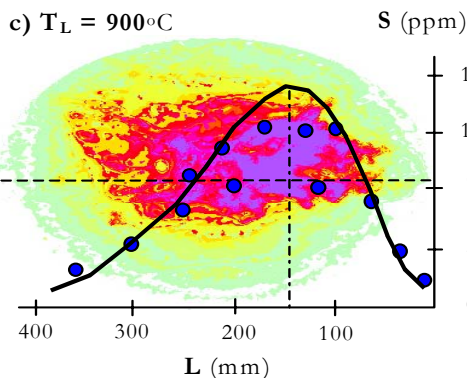
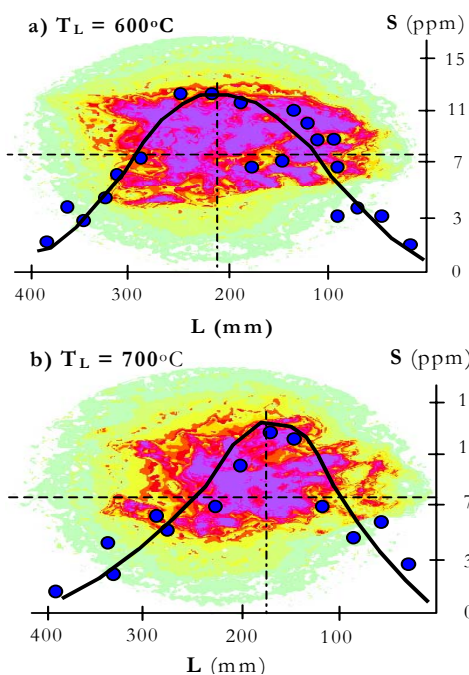
Hình 2: Biến thiên nhiệt độ và nồng độ bồ hóng, $a=1$



Hình 3: Biến thiên nồng độ bồ hóng trên trục ngọn lửa, $a=1$

Nhờ phương pháp này, chúng ta có thể xác định được nồng độ bồ hóng trung bình trên mỗi mặt cắt ngang dọc theo trục ngọn lửa.

Hình 4a,b,c giới thiệu biến thiên nồng độ bồ hóng dọc trục ngọn lửa khi nhiệt độ lò ở 600°C, 700°C và 900°C.



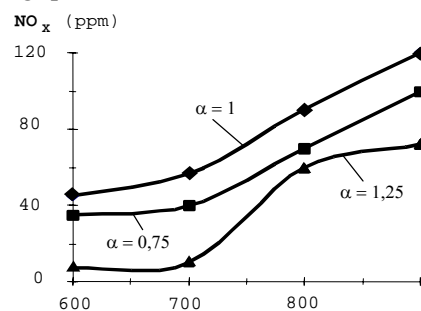
Hình 4: Phân bố nồng độ bồ hóng dọc theo trục ngọn lửa khi thay đổi nhiệt độ lò

Kết quả phân tích bồ hóng trên hình 4 cho thấy nồng độ bồ hóng cực đại tập trung trên trục ngọn lửa. Theo những công trình nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trước đây [4], [5] thì trên mỗi mặt cắt ngang của ngọn lửa khuếch tán, nồng độ nhiên liệu đạt giá trị cực đại trên tại tâm. Phía ngoài rìa ngọn lửa, hỗn hợp loãng, lượng oxy khuếch tán vào nhiều, do đó tốc độ oxy hoá bồ hóng cao làm nồng độ của nó giảm nhanh.

Khi nhiệt độ lò càng cao thì vùng có nồng độ bồ hóng cực đại càng dịch chuyển về phía miệng mỏ đốt. Điều này có nghĩa là vùng sản sinh bồ hóng dịch chuyển về phía mỏ đốt làm cho khoảng thời gian các hạt bồ hóng đi qua vùng nhiệt độ cao được kéo dài, lượng bồ hóng bị oxy hóa tăng khiến cho nồng độ của nó trong sản phẩm cháy giảm. Nói cách khác, nồng độ bồ hóng trong khí thải giảm theo sự tăng nhiệt độ của lò.

2.3. Đo nồng độ NO_x

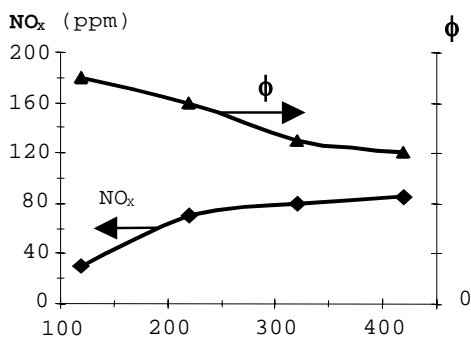
Hình 5 giới thiệu biến thiên nồng độ NO_x theo nhiệt độ buồng đốt ứng với thành phần hỗn hợp tổng quát khác nhau.



Hình 5: ảnh hưởng của nhiệt độ lò đến nồng độ NO_x trong khí thải ứng với các hệ số dư lượng không khí khác nhau

Chúng ta thấy nồng độ NO_x tăng theo nhiệt độ chung của lò và nhiệt độ tại khu vực cháy. Thật vậy trên hình 5 chúng ta thấy nồng độ NO_x lớn nhất ứng với $\alpha=1$ vì khi thành phần hỗn hợp thay đổi quanh giá trị cháy hoàn toàn lý thuyết, nhiệt độ cháy đạt giá trị cực đại. Khi hỗn hợp đậm hay loãng, nồng độ NO_x đều giảm (trường hợp $\alpha=0,75$ và $\alpha=1,25$ trên hình 5).

Hình 6 xem xét biến thiên nồng độ NO_x theo độ đậm đặc cục bộ trong ngọn lửa. Chúng ta thấy rất rõ đối với hỗn hợp giàu, nồng độ NO_x giảm khi độ đậm đặc của hỗn hợp tăng. Điều này ngược với xu thế biến thiên của nồng độ bồ hóng đã xem xét trên đây. Mặt khác, khác với bồ hóng, sau khi hình thành, nếu hỗn hợp được duy trì ở nhiệt độ cao thì nồng độ NO_x tăng theo cơ chế động học phản ứng (chứ không phi bị oxy hóa như đối với bồ hóng). Điều này có nghĩa là nhiệt độ lò càng cao thì nồng độ NO_x trong khí cháy càng lớn. Tốc độ hình thành NO_x và bồ hóng tại khu vực sản sinh đều tăng theo nhiệt độ tuy nhiên nồng độ của chúng trong sản phẩm cháy cuối cùng biến thiên ngược chiều nhau theo nhiệt độ lò.



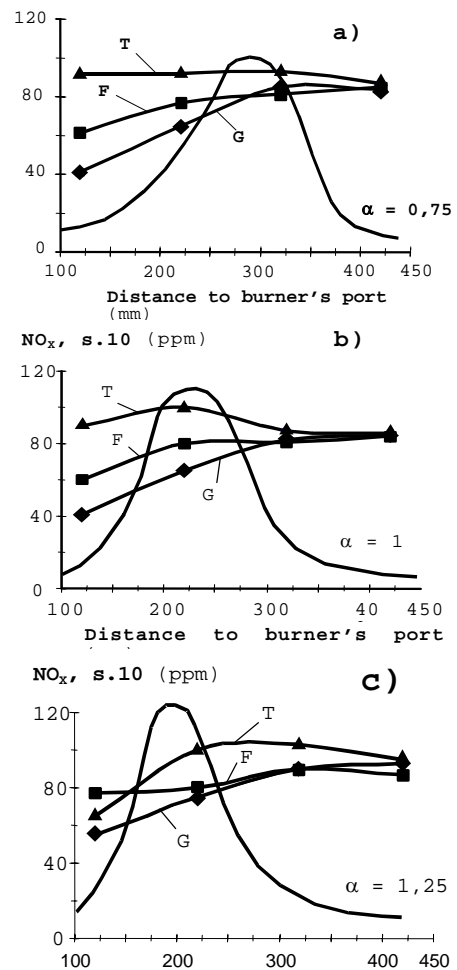
Hình 6: Biến thiên nồng độ NO_x trong ngọn lửa theo độ đậm đặc cục bộ của hỗn hợp

2.4. Xác lập quan hệ giữa nồng độ NO_x và nồng độ bồ hóng

Để xác lập mối quan hệ giữa nồng độ NO_x và nồng độ bồ hóng, chúng ta tiến hành đo đạc cục bộ nồng độ NO_x trong ngọn lửa. Sơ đồ vị trí lấy mẫu được giới thiệu trên hình 1b. Các vị trí đo được ký hiệu G (trên trục ngọn lửa); F (bên phải ngọn lửa-cách trục 25mm); T (bên trái ngọn lửa-cách trục 25mm); nhiệt độ buồng lò được giữ ở 800°C khi đo và hệ số dư lượng không khí $\alpha = 0,75; 1,0; 1,25$. Hình 7a,b,c giới thiệu biến thiên của nồng độ NO_x theo chiều

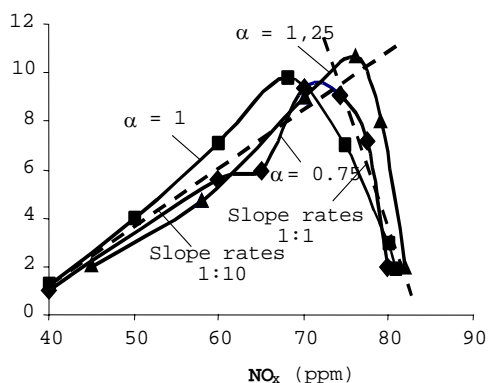
dài ngọn lửa ở các vị trí đo khác nhau. Chúng ta thấy nồng độ NO_x trên trục ngọn lửa luôn bé hơn nồng độ đo được ngoài biên ngọn lửa. Điều này có thể giải thích dễ dàng do trong lõi tia, độ đậm đặc của hỗn hợp cao hơn ở bên ngoài. Càng xa miệng mỏ đốt, các giá trị NO_x trên mặt cắt ngang của ngọn lửa càng gần nhau do độ chênh lệch thành phần hỗn hợp theo phương hướng kính không đáng kể. Sự biến thiên nồng độ NO_x trên trục ngọn lửa theo một qui luật chung là tăng dần đến giá trị ổn định. Cùng nhiệt độ lò, giá trị ổn định này càng lớn khi hỗn hợp càng nghèo.

Cũng trên các hình 7a,b,c chúng ta thấy tuy khác với sự biến thiên của NO_x , sự thay đổi nồng độ bồ hóng trên trục ngọn lửa cũng theo một qui luật nhất định. Các đường cong phân bố nồng độ bồ hóng có một cực trị và vị trí của cực trị này càng dịch lại gần đến miệng vòi đốt khi hỗn hợp tổng quát càng loãng.



Hình 7: Biến thiên nồng độ NO_x và nồng độ bồ hóng trên trục ngọn lửa

Hình 8 thiết lập mối quan hệ giữa nồng độ NO_x và nồng độ bồ hóng trên trục ngọn lửa.



Hình 8: Quan hệ giữa nồng độ NO_x và nồng độ bồ hóng trong ngọn lửa

Do nồng độ của chúng không cùng qui luật biến thiên theo nhiệt độ và độ đậm đặc của hỗn hợp, chúng ta không thể thiết lập được quan hệ tổng quát. Tuy nhiên chúng ta có thể biểu diễn mối quan hệ này thông qua hai qui luật tuyến tính có độ dốc (theo tọa độ) là 1:10 ở phần đầu và 1:1 ở phần đuôi ngọn lửa (hình 8).

3. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau:

- Nhiệt độ cháy làm tăng đồng thời tốc độ hình thành NO_x và bồ hóng ở khu vực phản ứng tuy nhiên nhiệt độ lò tạo ra sự biến thiên ngược chiều nhau của nồng độ hai chất ô nhiễm này trong khí thải của lò công nghiệp.

- Khi hệ số dư lượng không khí gia tăng, điểm cực trị của đường cong phân bố nồng độ bồ hóng dịch chuyển về phía gần miệng mỏ đốt, nồng độ bồ hóng trong sản phẩm cháy giảm, trong khi đó, nồng độ NO_x trong sản phẩm cháy gia tăng.

- Quan hệ giữa nồng độ bồ hóng và nồng độ NO_x trong ngọn lửa của lò công nghiệp có thể biểu diễn bằng hai qui luật tuyến tính có độ dốc 1:10 ở phần đầu và 1:1 ở phần đuôi ngọn lửa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Magnussen B. F. and Hjertager B. H. (1976). "On mathematical modeling of

turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion". 16th symposium (International) on Combustion. pp. 719-729.

2. Hampartsoumian E. and Missaghi M. (1993). "The prediction of NO_x emissions from spray combustion". Combustion Science and Technology. Vol. 93, pp. 153-172.
3. Kenbar A. M. A. and Beltagui S. A. and Ralston T. (1993). "Measurement and modelling of NO_x formation in a gas fired furnace". Combustion Science and Technology. Vol. 93, pp. 173-192.
4. Bùi Văn Ga (1994). "Tính toán ngọn lửa rớt và khuếch tán bằng mô hình tích phân". Tạp chí Khoa học-Công nghệ. Tập số 7 năm 1994, trang 36 đến 40.
5. Bùi Văn Ga, Trần Thanh Hải Tùng, Trần Văn Tế (1996). "Tính toán nồng độ Oxygen và nhiên liệu của ngọn lửa Diesel". Kỷ yếu Hội nghị Khoa học kỷ niệm 40 năm thành lập trường Đại học Bách khoa Hà Nội. trang 190 đến 197.
6. Bùi Văn Ga, Trần Thanh Hải Tùng (1999). "Tính toán nồng độ NO_x trong buồng cháy động cơ Diesel phun gián tiếp". Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường Đại học.
7. Bùi Văn Ga, Lê Văn Lữ (2002). "Integral model for soot formation calculation of turbulent diffusion flames in industrial furnaces". 6th European conference on industrial furnaces and boilers. Portugal.
8. Bui Van Ga, Phung Xuan Tho, Pham Xuan Mai, Le Van Lu, Nguyen Ngoc Linh (2004). "Soot formation analysis in turbulent diffusion flames by Visoscope". International Automotive Congress CONAT 2004-Brasov - Romania. pp. 19-22.
9. Bui Van Ga, Tran Thanh Hai Tung, Ho Si Xuan Dieu, Nguyen Ngoc Linh (2004). "Nghiên cứu sự phân bố bồ hóng trong buồng cháy phụ của động cơ MAZDA WL bằng visioscope". Tạp chí Khoa học và Công nghệ. Tập số 48-49, trang 151 đến 156.