

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐẦU ĐÓT TẠO XOÁY VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ SỐ XOÁY LÊN QUÁ TRÌNH CHÁY DÒNG PHUN RỐI XOÁY HAI PHA

Nguyễn Thanh Hà⁽¹⁾, Nguyễn Thanh Nam⁽²⁾

(1)Trường Đại học Công nghiệp Tp.HCM

(2)ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 05 tháng 12 năm 2006, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 02 tháng 10 năm 2007)

TÓM TẮT: Dòng phun xoáy rối xoáy hai pha có ảnh hưởng rất lớn đến sự hoà trộn giữa nhiên liệu và không khí trước khi cũng như trong quá trình cháy ổn định của ngọn lửa buồng đốt. Do đó có rất nhiều các nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết trong việc xây dựng mô hình toán cho dòng phun rối xoáy hai pha trong buồng đốt. Bài báo giới thiệu thiết bị đầu đốt tạo xoáy do nhóm nghiên cứu cải tiến từ đầu đốt thông thường dựa trên lý thuyết về quan hệ giữa hệ số xoáy và góc tạo xoáy cùng với những ứng dụng của đầu đốt tạo xoáy trong nghiên cứu thực nghiệm xác định hiệu quả của dòng xoáy lên ngọn lửa của dòng phun rối xoáy hai pha trong buồng đốt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dòng xoáy có rất nhiều ứng dụng thực tế. Trong các thiết bị cháy, hiệu ứng của dòng xoáy là trộn lẫn nhiên liệu và không khí được ứng dụng rộng rãi nhằm tạo ra sự ổn định cho quá trình cháy với cường độ cao và khả năng làm sạch buồng đốt trong các trường hợp: động cơ xăng dầu, động cơ diesel, tuabin khí, các lò nung công nghiệp, lò chưng cất và nhiều thiết bị nhiệt khác. Mô hình thiết kế và việc vận hành có hiệu quả của thiết bị cháy được tạo ra một cách dễ dàng qua sự kết hợp giữa thực nghiệm và lý thuyết khí động học sự cháy làm giảm đáng kể thời gian và chi phí cho các chương trình phát triển các hệ thống buồng đốt.

Dòng xoáy được tạo ra nhờ tác dụng của thành phần vận tốc xoáy (thành phần vận tốc tiếp tuyến) được hình thành bằng các thiết bị tạo xoáy đi vào buồng đốt theo phương hướng trục và phương tiếp tuyến hay bằng cách đi vào buồng đốt trực tiếp theo phương tiếp tuyến. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy sự xoáy có những tác động rất lớn đến tính ổn định của ngọn lửa và cường độ cháy. Mức độ xoáy này thường được biểu thị bằng hệ số xoáy S , là đại lượng không thứ nguyên đặc trưng cho mối liên hệ giữa dòng tiếp tuyến và hướng trục. Harvey (1962) qua thực nghiệm đã cho thấy rằng hệ số xoáy S phụ thuộc vào tỷ số giữa vận tốc theo phương tiếp tuyến và vận tốc theo phương dọc trục (w_{mo}/u_{mo}) [2].

Bên cạnh đó, người ta cũng đặc biệt chú ý tới mối quan hệ về góc tạo xoáy ϕ tới hệ số xoáy S . Theo Gupta [1] thì mối liên hệ giữa hệ số xoáy S và góc tạo xoáy ϕ có thể xác định bằng công thức:

$$S = \frac{2}{3} \operatorname{tg} \phi \quad (1.1)$$

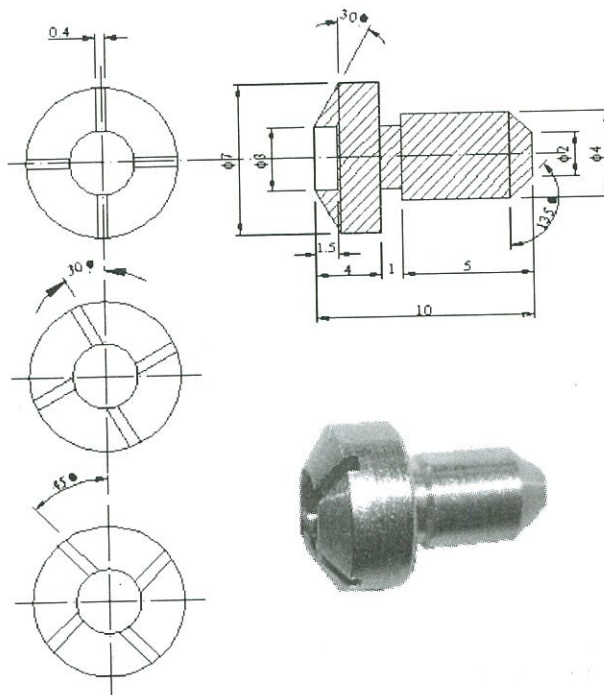
Theo đó, với góc tạo xoáy là 15° ; 30° ; 45° ta có các giá trị tương ứng của S là 0,2; 0,4; 0,6. Góc tạo xoáy trong các béc phun của buồng đốt công nghiệp không lớn hơn 60° vì khi đó kích thước đường kính của ngọn lửa tăng nhưng chiều dài ngọn lửa giảm không đáng kể, kích thước buồng đốt tăng lên, suất sử dụng vật liệu chế tạo buồng đốt giảm, hiệu suất nhiệt kém. Do đó, nghiên cứu chỉ xét các trường hợp xoáy $0 \leq S \leq 0,6$.

Thực tế cho thấy, trong các thiết bị đốt công nghiệp đầu đốt xoáy giúp cho quá trình tán sương nhiên liệu đồng đều, hạt nhiên liệu có kích thước nhỏ mịn. Do vậy vấn đề chế tạo đầu đốt tạo xoáy và nghiên cứu ảnh hưởng của xoáy trong quá trình đốt cháy nhiên liệu hai pha có ý nghĩa thực tiễn rất lớn. Bài báo này giới thiệu thiết bị đầu đốt tạo xoáy với các hệ số xoáy khác nhau được nhóm nghiên cứu cải tiến từ đầu đốt thông thường dựa trên lý thuyết về quan hệ giữa hệ số xoáy và góc tạo xoáy (công thức 1.1), cùng với những ứng dụng của đầu đốt tạo xoáy trong nghiên cứu thực nghiệm xác định hiệu quả của dòng xoáy lên ngọn lửa của dòng phun rối xoáy hai pha trong buồng đốt.

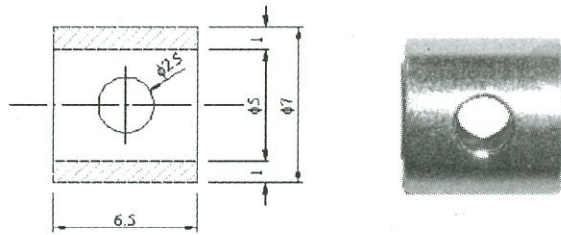
2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐẦU ĐỐT TẠO XOÁY CHO BUỒNG ĐỐT CÔNG NGHIỆP

Đầu đốt nhiên liệu tạo xoáy được thiết kế, chế tạo thông qua cải tiến đầu đốt thường bằng cách tạo thêm các rãnh phun có kích thước 0,4mmx0,4mm theo phương tiếp tuyến với góc tạo xoáy ϕ lần lượt là 45° , 30° và 0° cho đĩa tạo xoáy để tiến hành thực nghiệm ở ba chế độ xoáy khác nhau đó là xoáy mạnh ($S=0,6$), xoáy yếu ($S=0,4$) và không xoáy ($S=0$) như trên hình 1.

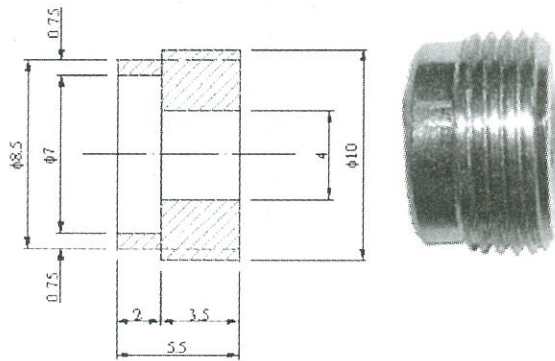
Kết cấu của đầu đốt phun xoáy gồm bốn chi tiết lắp ghép như trên các hình (1-4) được sử dụng để đốt nhiên liệu dầu DO trong buồng đốt công nghiệp. Trong bài báo này chúng được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của xoáy đến quá trình cháy nhiên liệu hai pha trong mô hình thực nghiệm quá trình cháy của dòng phun rối xoáy hai pha.



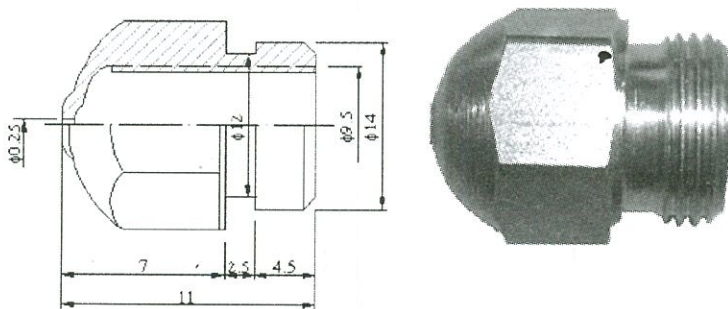
Hình 1- Cấu tạo chi tiết đĩa tạo xoáy Có hệ số xoáy $S=0$; $S=0,4$; $S=0,6$.



Hình 2 - Cấu tạo ống phân phối nhiên liệu



Hình 3 - Cấu tạo chi tiết định vị



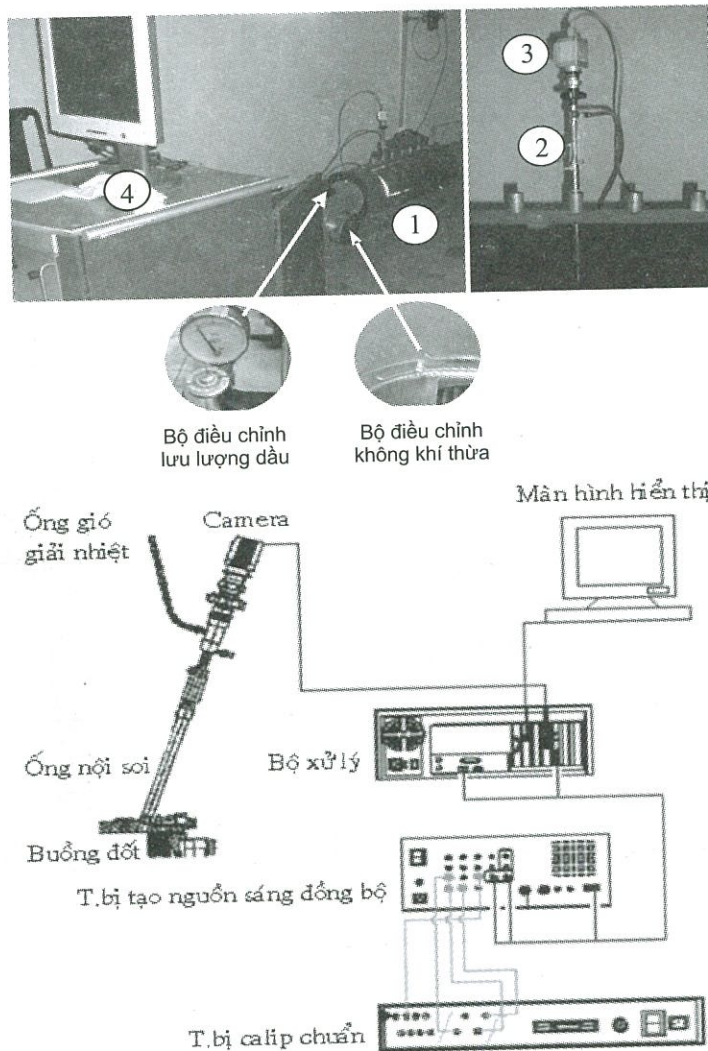
Hình 4 - Cấu tạo đầu phun sương nhiên liệu

3. ỨNG DỤNG NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH CHÁY DÒNG PHUN RỎI XOÁY HAI PHA

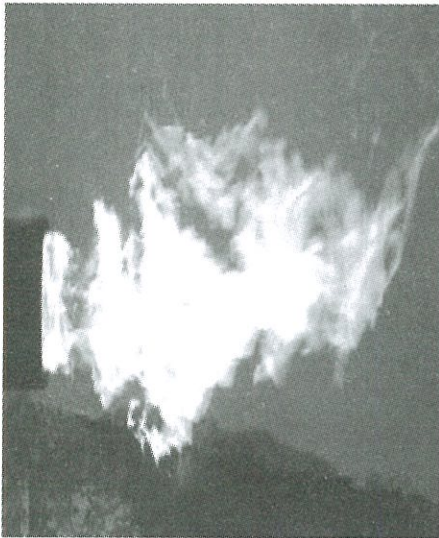
Mô hình buồng đốt được gắn với thiết bị đo phân tích hình ảnh AVL Visioscope có độ chính xác rất cao (sai số $\pm 0,2\%$) của Austria lắp đặt tại Trung tâm điều khiển và xử lý số liệu, Khoa Kỹ thuật giao thông, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM. Lưu lượng không khí cấp phụ thuộc vào hệ số không khí thừa α được điều tiết bằng bộ điều chỉnh không khí của Olympia [5]. Lưu lượng và áp suất dầu DO được điều khiển trực tiếp trên bơm bánh răng A2VA-7116 của Suntec [6] theo đường đặc tính của bơm (hình 5).

Nguyên lý đo bằng AVL Visioscope như sau: Các tín hiệu hình ảnh ngọn lửa được chụp bằng CCD Camera PixelFly thu nhận hình ảnh dưới dạng dữ liệu số 12bit với độ phân giải là 640x480 pixels, sau đó dữ liệu số này được đem so sánh với hình ảnh màu chuẩn do nhà chế tạo cung cấp bằng phần mềm phân tích hình ảnh ngọn lửa đã được lập trình sẵn trong bộ xử lý tín hiệu (Intel Pentium III, NT 4.0).

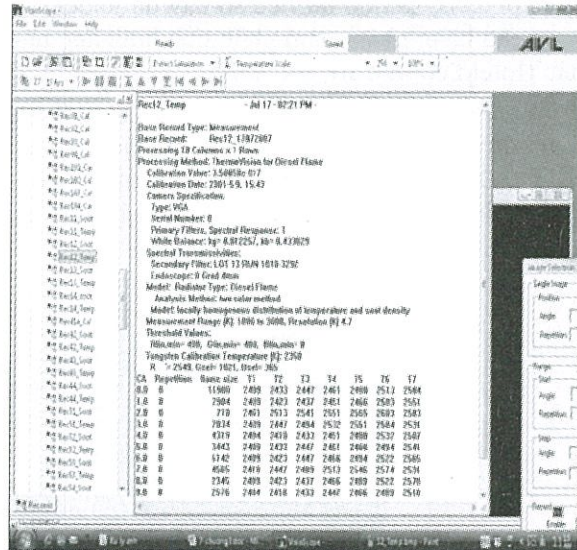
Tiến hành đốt nhiên liệu dầu DO trong môi trường không khí với thành phần không khí thừa vừa đủ ($\alpha=1,1$) bằng đầu đốt được gia công có các thông số như sau: hệ số xoáy $S=0,6$, áp suất $p=10\text{bar}$, lưu lượng lớn nhất $G=9,6\text{kg/h}$. Hình ảnh phát triển ngọn lửa dầu DO rồi xoáy được chụp lại bằng camera và phân bố nhiệt độ được đo bằng AVL Visioscope trên bề mặt ngọn lửa với $S=0,6$ như trên hình 6.



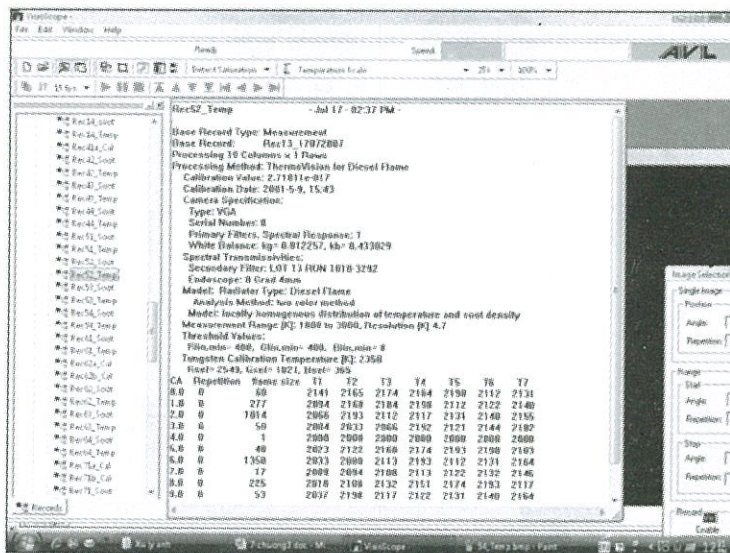
Hình 5 - Sơ đồ bố trí thiết bị đo phân tích hình ảnh AVL Visioscope (ĐHBK Tp.HCM)
1-Buồng đốt; 2-Ống nội soi; 3-Camera; 4-AVL



a



b



c

Hình 6. Quá trình phát triển ngọn lửa khi đốt dầu DO rồi xoay (a), phân bố nhiệt độ tại tâm và biên (b) và kết quả nhiệt độ thu được bằng phần mềm Visioscope tại tâm và biên (c) ngọn lửa cách béc phun 300mm với S=0,6

Phân bố nhiệt độ của ngọn lửa trong buồng đốt (hình 6) có thể được chia làm ba vùng theo ba màu khác nhau bằng thiết bị đo phân tích hình ảnh AVL Visioscope như sau [3], [4]:

- Vùng có màu vàng cam có nhiệt độ 2400°K ÷ 2600°K.
- Vùng có màu vàng đậm có nhiệt độ 2200°K ÷ 2400°K.

- Vùng có màu đỏ hồng có nhiệt độ $2000^{\circ}\text{K} \div 2200^{\circ}\text{K}$ (bảng 1).

Thực nghiệm cho thấy ngọn lửa cháy mãnh liệt và ổn định khi hệ số xoáy $S=0,6$, hiệu suất nhiệt cao, hình ảnh phân bố nhiệt độ của ngọn lửa trong đối cân xứng. Quá trình phát triển ngọn lửa diễn ra rất nhanh và tiến đến trạng thái cháy ổn định chỉ trong khoảng thời gian $0,2 \div 0,3\text{s}$ vì tốc độ các phản ứng hoá học trong quá trình cháy tăng khi tăng cường độ rối. Ảnh hưởng của xoáy tới tốc độ phản ứng cháy chủ yếu là ảnh hưởng đến hệ số tốc độ phản ứng.

Bảng 1. Thông số nhiệt độ ngọn lửa tại các vị trí đo khi đốt dầu DO rối xoáy với $S = 0,6$ đo bằng AVL Visioscope.

Chiều dọc trục Chiều hướng kính	100mm	300mm	400mm	500mm
$y = 0\text{mm}$	2570	2603	2582	2400
$y = 62,6\text{mm}$	2379	2388	2392	2392
$y = 125\text{mm}$	2184	2198	2197	2193

Tiến hành đốt nhiên liệu dầu DO trong môi trường không khí với thành phần không khí thừa vừa đủ ($\alpha=1,1$) bằng đầu đốt được gia công có các thông số như sau: hệ số xoáy $S=0,4$, áp suất $p=10\text{bar}$, lưu lượng lớn nhất $G=9,6\text{kg/h}$. Hình ảnh ngọn lửa sau khi mỗi lửa được chụp lại bằng camera và phân bố nhiệt độ được đo bằng AVL Visioscope trên bề mặt ngọn lửa với $S=0,4$ như trên hình 7.

So sánh kết quả thực nghiệm khi đốt dầu DO bằng đầu đốt có hệ số xoáy $S=0,6$ cho thấy ngọn lửa cháy trong trường hợp đốt dầu DO bằng đầu đốt có hệ số xoáy $S=0,4$ hẹp hơn và dài hơn, độ cháy sáng của ngọn lửa thấp hơn chứng tỏ cường độ cháy của ngọn lửa không cao, nhiệt độ bề mặt ngọn lửa khoảng $1875^{\circ}\text{K} \div 2075^{\circ}\text{K}$ (bảng 2), hiệu suất nhiệt không cao.

Bảng 2. Thông số nhiệt độ ngọn lửa tại các vị trí đo khi đốt dầu DO rối xoáy với $S = 0,4$ đo bằng AVL Visioscope.

Chiều dọc trục Chiều hướng kính	100mm	300mm	400mm	500mm
$y = 0\text{mm}$	2584	2574	2583	2400
$y = 62,6\text{mm}$	2365	2379	2383	2200
$y = 125\text{mm}$	1960	2075	2074	1875

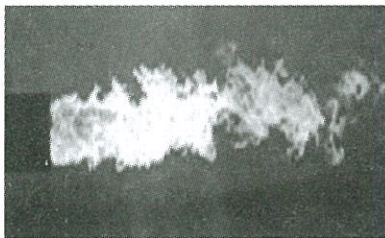
Tương tự, tiến hành đốt nhiên liệu dầu DO trong môi trường không khí với thành phần không khí thừa vừa đủ ($\alpha=1,1$) bằng đầu đốt được gia công có các thông số như sau: hệ số xoáy $S=0$, áp suất $p=10\text{bar}$, lưu lượng lớn nhất $G=9,6\text{kg/h}$. Hình ảnh ngọn lửa sau khi mỗi lửa được chụp lại bằng camera và phân bố nhiệt độ được đo bằng AVL Visioscope trên bề mặt ngọn lửa với $S=0$ như trên hình 8.

So sánh kết quả thực nghiệm khi đốt dầu DO bằng đầu đốt không tạo xoáy ($S=0$) với hai trường hợp có tạo xoáy trên ($S=0,4$ & $S=0,6$) cho thấy ngọn lửa cháy trong trường hợp này hẹp và dài, độ cháy sáng của ngọn lửa thấp hơn chứng tỏ cường độ cháy của ngọn lửa yếu, quá

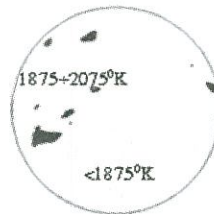
trình bắt cháy và cháy nhiên liệu khó khăn do quá trình tán sương dầu kém, nhiệt độ bề mặt ngọn lửa khoảng $1200^{\circ}\text{K} \div 1400^{\circ}\text{K}$ (bảng 3), hiệu suất nhiệt thấp.

Bảng 3. Thông số nhiệt độ ngọn lửa tại các vị trí đo khi đốt dầu DO rồi xoay với $S = 0$ đo bằng AVL Visioscope.

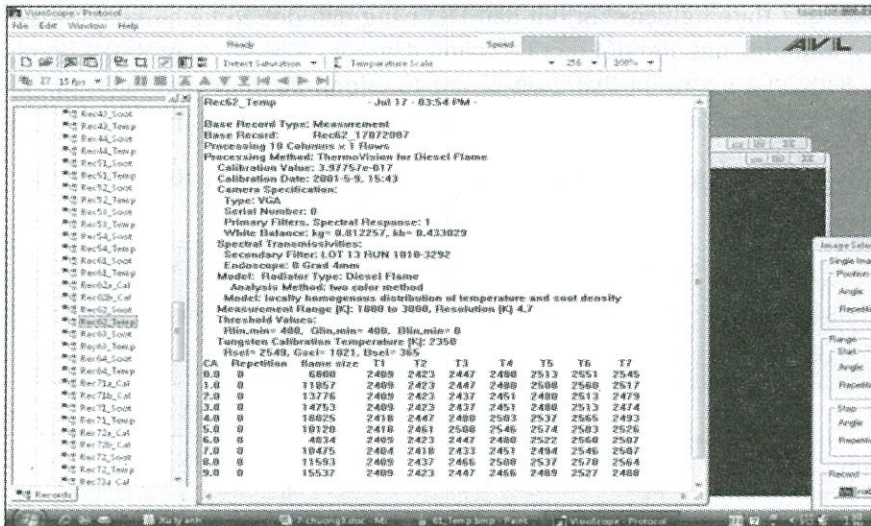
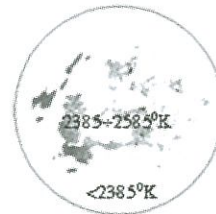
Chiều dọc trục Chiều hướng kính	100mm	300mm	400mm	500mm
y = 0mm	1818	1866	1800	1800
y = 62,6mm	1600	1666	1600	1400
y = 125mm	1305	1400	1390	1200



(a)

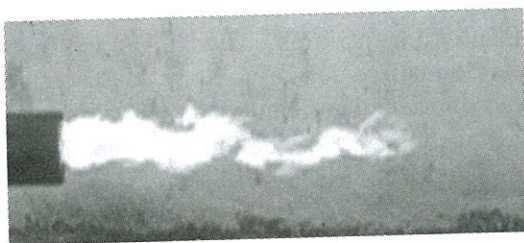


(b)

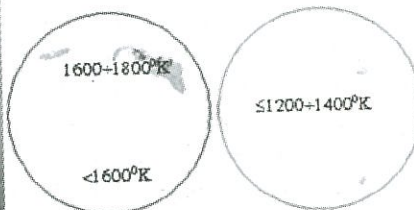


(c)

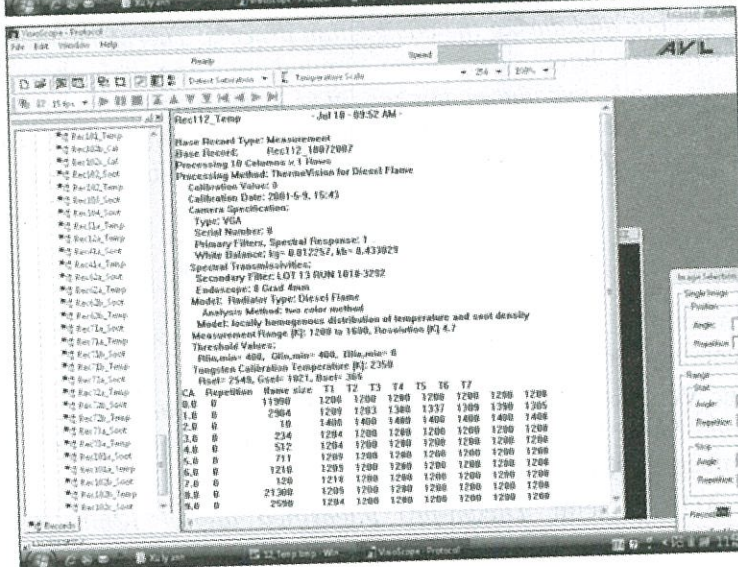
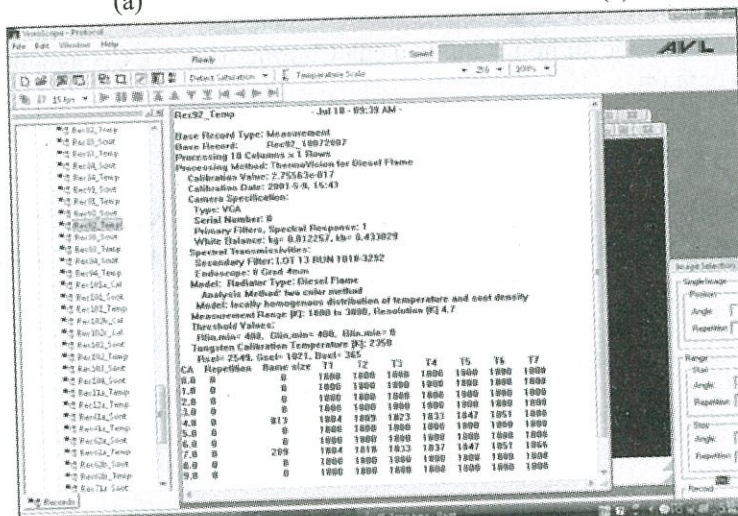
Hình 7. Quá trình phát triển ngọn lửa khi đốt dầu DO rồi xoay (a), phân bố nhiệt độ tại tâm và biên (b) và kết quả nhiệt độ thu được bằng phần mềm Visioscope tại tâm và biên (c) ngọn lửa cách béc phun 300mm với $S=0,4$



(a)



(b)



(c)

Hình 8 - Quá trình phát triển ngọn lửa khi đốt dầu DO rồi xoay (a), phân bố nhiệt độ tại tâm và biên (b) và kết quả nhiệt độ thu được bằng phân mềm Visioscope tại tâm và biên (c) ngọn lửa cách béc phun 300mm với S=0

4. KẾT LUẬN

Thực nghiệm cho thấy ngọn lửa hình thành trong quá trình cháy dầu DO với ôxy không khí phụ thuộc vào nhiều thông số vật lý, trong đó phải kể đến hệ số xoáy của các chất tham gia phản ứng. Đầu đốt tạo xoáy có thể chế tạo được dễ dàng bằng cách tạo các rãnh phun theo phương tiếp tuyến với góc tạo xoáy ϕ cho đĩa tạo xoáy. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi đốt nhiên liệu trong buồng đốt công nghiệp với đầu đốt có hệ số xoáy $S=0,6$ thì hiệu suất nhiệt của quá trình cháy là cao nhất. Ngược lại khi đốt với đầu đốt có hệ số xoáy $S<0,6$ thì hiệu suất nhiệt không cao, nhiên liệu cháy không hoàn toàn do khả năng tạo sương kém hơn, gây tổn thất nhiệt lượng và nhiên liệu lớn.

Công trình nhận được sự hỗ trợ quý báu của Chương trình NCCB ngành cơ học, các tác giả xin chân thành cảm ơn.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SWIRL NOZZLES AND SWIRL FACTOR IMPACT ON THE SWIRLING TWO-PHASE TURBULENT JETS IN THE COMBUSTION

Nguyen Thanh Hao⁽¹⁾, Nguyen Thanh Nam⁽²⁾

(1)University of Industry, HCMC

(2)VNU-HCM

ABSTRACT: *The swirling two-phase turbulent jets have significant influences on the air-fuel mixture before and during the combustion process. Therefore, many experimental and theoretical researches have been made around swirling two-phase turbulent jets in combustion. This paper introduces the modified swirl nozzles, based on the relationship between swirl factor and angle of swirling and their application in experimental research to verify the effectiveness of the swirling two-phase turbulent jets in combustion.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. K. Gupta, D. G. Lilley, N. Syred. *Swirl Flows*. Department of Mechanical Engineering University, (1984).
- [2]. M. Luc Vervisch - M. Pierre Sagaut. *Large Eddy Simulations of Flow and Mixing in Jets and Swirl Flow Application to a Gas Turbine*. CERFACS, Toulouse, France, september (2000).
- [3]. PCO AG, Kelheim. *Dicam-pro intensified digital 12bit CCD camera system*. <http://www.pco.de>, 08/2003.
- [4]. PCO AG, Kelheim. *Pixelfly high performance digital 12bit CCD camera system*. <http://www.pco.de>, 08/2003.
- [5]. Shenzhen Olympia Industrial Co. Ltd. *One stage light oil burners*. 4F south, 3-Building Dongxinkeitai Industrial Area, Qiaoxiang Road, Xiangmi Lake, Futian District, Shenzhen City, 518040, China.
- [6]. Suntec Pumps. *Components for oil burners*. Internet: <http://www.suntec.com>.