

# NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH HÌNH THÀNH HỖN HỢP CỦA ĐỘNG CƠ CHÁY DO NÉN BẰNG PHẦN MỀM ANSYS ICE

STUDY OF MIXTURE FORMATION IN COMPRESS IGNITION ENGINE USING ANSYS ICE SOFTWARE

Nguyễn Đức Khánh, Nguyễn Viết Bằng,  
Nguyễn Duy Vinh, Trần Đăng Quốc,  
Bùi Văn Chính, Trần Thanh Tâm

## Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng quá trình hình thành hỗn hợp trong động cơ cháy do nén, sử dụng nhiên liệu diesel. Các bước xây dựng mô hình và mô phỏng quá trình nạp, nén và phun nhiên liệu được thực hiện trên phần mềm Ansys ICE. Đối tượng mô phỏng là động cơ diesel D1146, buồng cháy thống nhất dạng ô-mê-ga đặt lệch tâm so với đường tâm xylanh. Kết quả mô phỏng đưa ra được các hình ảnh trực quan về vận tốc và chuyển động xoáy ốc của dòng môi chất trong xylanh, quá trình hình thành và hòa trộn của tia nhiên liệu trong buồng cháy, diễn biến áp suất và nhiệt độ trong xylanh. Bài báo có giá trị tham khảo trong các nghiên cứu về thiết kế mới, cải tiến kết cấu động cơ hoặc sử dụng các loại nhiên liệu thay thế.

**Từ khóa:** Dòng học dòng chảy, phần mềm Ansys ICE, chu trình công tác

## Abstract

The paper presents simulation of cylinder of compress ignition (C.I.) engine. The study was conducted in Ansys which is one of the most advanced simulation tools nowadays. The Ansys ICE, an advanced module is designed specifically for internal combustion engine analysis and to increase the user productivity. The object of the study was C.I. engine D1146, an independent combustion chamber omega type offset from cylinder central line. The results show various virtualization details in cylinder process of an ICE such as the velocity and swirl of intake air, fuel jet and mixture formation, temperature and pressure contours. The paper is very helpful in development research in internal combustion engine.

**Keywords:** CFD, Ansys ICE, working cycle.

ThS. Nguyễn Đức Khánh, KS. Nguyễn Viết Bằng,

ThS. Nguyễn Duy Vinh, TS. Trần Đăng Quốc

Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

ThS. Bùi Văn Chính – Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

ThS. Trần Thanh Tâm – Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Nam Định

Email: khanh.nguyenduc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/11/2014

Ngày chấp nhận đăng: 15/12/2014

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, với sự phát triển vượt bậc của công nghệ :hông tin, vấn đề mô hình hóa và mô phỏng được áp dụng rất rộng rãi và nhiều quả trong các ngành khoa học kĩ thuật, trong đó phải kể đến lĩnh vực

động cơ đốt trong. Các phần mềm mô phỏng 3 chiều (3D) hiện đại như: Star-CD, AVL-FIRE, ANSYS Fluent. Những phần mềm này đã và đang được nhiều hãng sản xuất ô tô lớn trên thế giới sử dụng trong thiết kế và chế tạo động cơ. Ngoài ra các phần mềm còn được

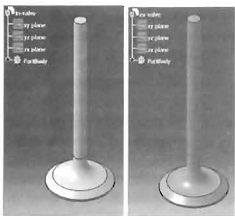
sử dụng và không ngừng phát triển ở các viện, trung tâm nghiên cứu và các trường đại học.

Các phần mềm mô phỏng 3D được xây dựng dựa trên lý thuyết dòng lực học chất lỏng CFD (Computational Fluid Dynamic). Lý thuyết CFD với nền tảng phương pháp phần tử hữu hạn hay phương pháp thể tích hữu hạn và các phương pháp số, cho phép mô phỏng bất kì quá trình dòng lực học nào. Trong lĩnh vực động cơ đốt trong (ĐCĐT), quá trình mô phỏng được thực hiện sau khi xây dựng mô hình hình học và chia lưới đối tượng mô phỏng. Để làm được điều này, các phần mềm 3D thường tích hợp mô đun xây dựng mô hình hình học hoặc cho phép nhập mô hình hình học được xây dựng trên các phần mềm 3D khác như Catia, Solid work, Autocad...[3]. Trong quá trình xây dựng mô hình hình học và chia lưới trong bài toán mô phỏng quá trình làm việc trong ĐCĐT, việc khó khăn nhất vẫn là chia lưới động (Dynamic meshing). Để thực hiện được chia lưới động, cần thiết lập các thông số các đường, mặt và khối tính, chuyển động tương đối phức tạp. Tuy nhiên, các khó khăn trên được thực hiện dễ dàng nhờ mô đun Ansys ICE [1,2].

Với những tính năng ưu việt của các công cụ mô phỏng, việc ứng dụng một công cụ hiện đại đang có xu hướng



Hình 1. Bố trí đường nạp, thải và buồng cháy

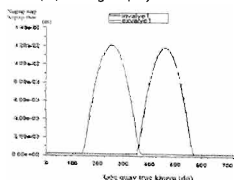


a) Xupap nạp (xanh) b) Xupap thải (cam)  
Hình 2. Mô hình xupap nạp và thải

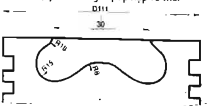
cơ so với buồng cháy như hình 1.

Đường nạp là đường tương ứng với xupap màu xanh. Với kết cấu của đường nạp có thể tạo được chuyển động xoay lốc của dòng khí nạp theo chiều ngược chiều kim đồng hồ. Qua mô hình còn thấy đường nạp được bố trí lệch một khoảng so với đường tâm xylanh nhằm giảm thiểu tổn thất cho dòng khí nạp bởi mặt xylanh đồng thời cũng tạo không gian thuận tiện nhất để dòng khí nạp đi vào.

Dựa vào kết cấu của xupap nạp thải, mô hình 3D của hai chi tiết được xây dựng như thể hiện trên hình 2. Ngoài các thông số về kết cấu, quy luật nâng của hai xupap cũng là thông số quan trọng trong quá trình xây dựng mô hình mô phỏng để đảm bảo độ chính xác của mô hình. Hình 3 thể hiện kết quả đo đạc xác định quy luật đóng mở hai xupap theo góc quay trục khuỷu (TK). Trên đó thể hiện thời điểm mở sớm, đóng muộn và góc trùng điệp của hai xupap theo góc quay TK.



Hình 3. Quy luật nâng xupap nạp và thải



Hình 4. Mặt cắt qua tâm buồng cháy

Hình 4 là kết cấu buồng cháy của động cơ D1146. Loại buồng cháy của động cơ D1146 là buồng cháy thống nhất, dạng ô-mê-ga, hình thành hỗn hợp theo kiểu thể tích màng. Thể tích

buồng cháy chủ yếu tập trung ở phần lõm trên đỉnh piston. Đường nạp được thiết kế dạng tròn ốc giúp tạo xoay tròn đến tận cuối quá trình nén. Khi piston đi lên trên trong quá trình nén, không khí giữa nắp xylanh và đỉnh piston bị chèn ép vào không gian trên đỉnh piston tạo ra chuyển động xoay hình xoắn với cường độ lớn kết hợp với chuyển động xoay tròn của không khí còn lưu lại trong quá trình nạp. Buồng cháy ô-mê-ga được thiết kế đặc biệt với vị trí lệch một khoảng với tâm xylanh. Thiết kế này được điều chỉnh phù hợp với vị trí của xupap nạp, tạo điều kiện thuận lợi cho dòng khí nạp mới đi vào phần lõm trên đỉnh piston giúp quá trình quét khí được tốt hơn đồng thời cải thiện khả năng làm mát đỉnh piston.

Để tia phun phun nhiên liệu phù hợp với kết cấu buồng cháy đặc biệt này, vòi phun cũng được bố trí lệch so với đường tâm xylanh và hướng vào tâm của buồng cháy trên đỉnh piston. Trong mô hình này, bỏ qua ảnh hưởng chiếm chỗ buồng cháy của vòi phun trên nắp máy. Các thông số của vòi phun được thiết lập trong mô hình phun nhiên liệu mà không cần xây dựng kết cấu chi tiết của vòi phun. Mô hình mô phỏng hoàn thiện như hình 5.

## 2.2. Định nghĩa điều kiện biên và chia lưới mô hình

Sau khi đã xây dựng được mô hình hoàn chỉnh, tiến hành đặt các điều kiện biên cho bài toán mô phỏng và chia lưới mô hình. Điều kiện biên bao gồm:

- Điều kiện biên đầu vào (inlet) (hình 6): được thiết lập với hai thông số cơ bản là áp suất ( $p$ ) và nhiệt độ ( $T$ ) của



Hình 5. Mô hình hoàn thiện

phát triển mạnh trong lĩnh vực ĐCDT như Ansys ICE để nghiên cứu, mô phỏng quá trình làm việc của động cơ có ý nghĩa thực tiễn cao. Chu trình công tác của động cơ đã được nghiên cứu nhiều bằng các công cụ mô phỏng một chiều như AVL-Boost, GT Power... cho thấy hiệu quả rõ rệt trong nghiên cứu. Tuy nhiên những nghiên cứu cho kết quả dạng định tính, định lượng và hình ảnh trực quan của các quá trình diễn ra bên trong xylanh chưa được nghiên cứu nhiều. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung mô phỏng và đánh giá quá trình hình thành hòa trộn nhiên liệu trong động cơ, cụ thể là động cơ cháy do nén.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG

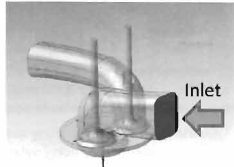
### 2.1. Xây dựng mô hình 3D

Để cải thiện sự hình thành hóa khí, đường nạp động cơ D1146 được thiết kế dạng tròn ốc (hình 1). Ngoài ra, người ta còn sử dụng tấm chắn trên để xupap để hướng dòng khí nạp, tạo chuyển động xoay lốc trong xylanh. Cách bố trí đường nạp và thải của động

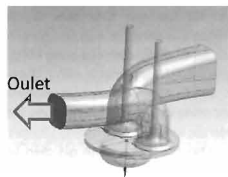
tiếp nạp mới.

- Điều kiện biên đầu ra (outlet) (hình 6): được thiết lập với hai thông số cơ bản là áp suất ( $p$ ) và nhiệt độ ( $T$ ) của xi lanh.

- Các điều kiện biên dạng thành tích (wall) (hình 8) bao gồm: nhiệt độ thân xy lanh, nắp máy, xupap nạp, xupap thải, đỉnh piston.



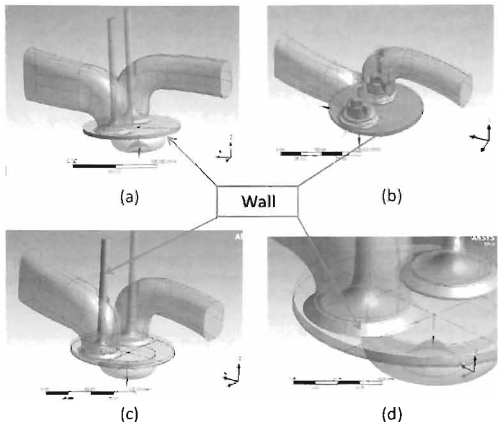
Hình 6. Đặt điều kiện biên đầu vào



Hình 7. Đặt điều kiện biên đầu ra

Việc chia lưới mô hình có ý nghĩa quan trọng, ảnh hưởng tới độ chính xác của kết quả tính toán và thời gian tính toán. Chi tiết được chia bởi một số giới hạn các phần tử được liên kết với nhau bởi các nút. Kích thước và hình dạng của phần tử đóng vai trò quan trọng trong tính toán phân tích. Phần tử càng nhỏ thì kết quả tính toán càng chính xác hơn tuy nhiên số lượng phần tử tăng lên, điều này bị giới hạn bởi tài nguyên máy tính. Do đó, cần phải lựa chọn số lượng phần tử phù hợp. Các thông số và hình ảnh chia lưới như bảng 1 và hình 9.

Sau khi xây dựng mô hình mô phỏng hoàn chỉnh, tiến hành đặt các điều kiện đầu vào cho bài toán. Các



(a) Xylanh, (b) Nắp máy, (c) Thân xupap, (d) Mặt đế xupap  
Hình 8. Đặt điều kiện biên cho các bề mặt thành tích

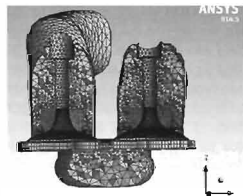
Bảng 1. Thông số chia lưới mô hình

| TT | Thông số           | Giá trị                      | Đơn vị   |
|----|--------------------|------------------------------|----------|
| 1  | Kiểu phần tử       | Tứ diện                      | -        |
| 2  | Số lượng phần tử   | 4778                         | -        |
| 3  | Số nút             | 91953                        | -        |
| 4  | Kích thước phần tử | Lớn nhất 3,5<br>Nhỏ nhất 0,5 | mm<br>mm |

Bảng 2. Thông số đầu vào của bài toán mô phỏng

| TT | Thông số                              | Giá trị/Đơn vị                  |
|----|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1  | Tốc độ động cơ                        | 2000 v/ph                       |
| 2  | Hành trình piston x Đường kính xylanh | 139x111 mm                      |
| 3  | Đường nạp                             | Áp suất 1 at<br>Nhiệt độ 25°C   |
| 4  | Đường thải                            | Áp suất 1,1 at<br>Nhiệt độ 25°C |

thông số đầu vào của bài toán mô phỏng bao gồm: tốc độ động cơ, hành trình dịch chuyển của piston, thông số môi chất vào đường nạp (inlet) và ra



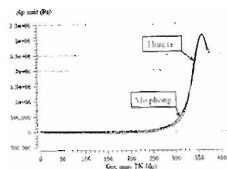
Hình 9. Hình ảnh lưới tại mặt cắt qua tâm hai xupap

đường thải (outlet), trạng thái nhiệt độ của các chi tiết (wall) (bảng 2)...

### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đánh giá độ chính xác của mô hình

Hình 10 là kết quả so sánh diễn biến áp suất quá trình nên không chấy giữa mô phỏng và số liệu đo đặc thực tế ở chế độ motoring (động cơ bị kéo bởi động cơ điện và không phun nhiên



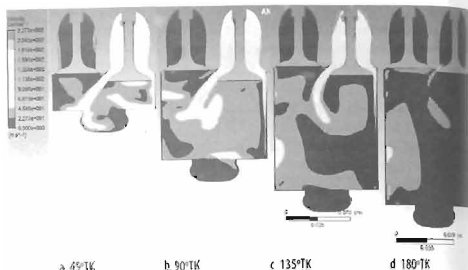
Hình 10. So sánh diễn biến áp suất trong xylanh giữa mô phỏng và đo đạc ở chế độ motoring

liệu) tại tốc độ 2000 v/ph. Kết quả hai đường áp suất khá tương đồng, cho thấy mô hình động cơ xây dựng trên Ansys ICE phản ánh chính xác động cơ thực tế.

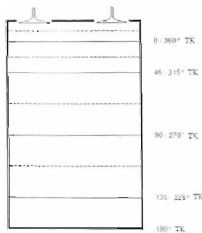
### 3.2. Diễn biến quá trình nạp

Hình 11 thể hiện vận tốc của dòng khí nạp tại mặt phẳng đi qua đường tâm hai xupap. Kết quả cho thấy quá trình lưu động của dòng khí đi qua xupap tại mỗi thời điểm theo góc quay TK. Hiện tượng xoáy lốc (tumb) diễn ra mạnh khi quá trình nạp bắt đầu, sau đó giảm dần khi góc quay trục khuỷu lớn hơn 90° do thể tích trong xylanh tăng dần. Đồng thời, khi góc quay TK lớn hơn 135° thì tiết diện thông xupap nạp đang dần thu hẹp, hiện tượng xoáy tumb có xu hướng giảm dần. Tại thời điểm 45°TK và 90°TK tiết diện thông qua tại xupap nạp còn nhỏ, do vậy dòng khí nạp đi vào xylanh với vận tốc tương đối lớn. Vận tốc lớn nhất đạt tới 227,3 m/s.

Do đường nạp được thiết kế theo dạng xoắn ốc nên dòng khí nạp sẽ tạo chuyển động xoáy tròn trong xylanh (swirl). Chuyển động xoáy vừa phải giúp cho quá trình hòa trộn nhiên liệu, hình thành hòa khí tốt hơn. Để thấy rõ hơn chuyển động xoáy theo phương X (tumb), quan sát vận tốc dòng môi chất tại mặt cắt qua xylanh theo phương vuông góc với trục Z (hình 12). Vị trí các mặt cắt được mô tả là các mặt phẳng song song cách đỉnh buồng cháy các khoảng khác nhau.



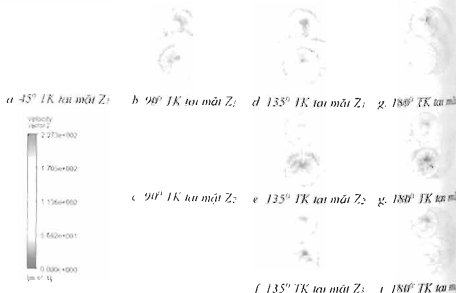
Hình 11. Diễn biến vận tốc của dòng khí nạp trong xylanh theo góc quay TK tại mặt cắt đi qua tâm hai xupap



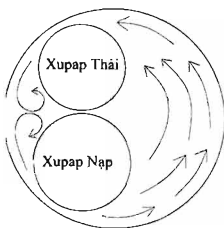
Hình 12. Vị trí các mặt cắt quan sát chuyển động xoáy lốc của dòng khí nạp

Có thể quan sát chuyển động xoáy tròn swirl quanh trục Z trong xylanh qua các mặt cắt (hình 13). Kết quả mô phỏng cho thấy, tại vị trí 45°TK, dòng khí nạp đi vào xylanh và chèn ép mạnh khi sót sau quá trình thải. Do ảnh hưởng của dòng khí nạp nên cùng ở vị trí 180°TK độ ổn định của dòng khí tản dần theo chiều từ mặt Z<sub>1</sub> đến Z<sub>2</sub>. Tại mặt Z<sub>1</sub>, ở vị trí 45° góc quay trục khuỷu và tốc độ dòng khí cũng không quá lớn, điển hình vận tốc lớn nhất chỉ khoảng 120 m/s.

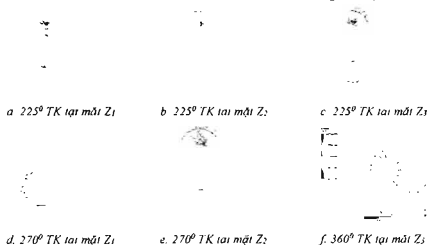
Qua phân tích đánh giá diễn biến vận tốc theo góc quay trục khuỷu tại các mặt cắt vuông góc với trục Z cho thấy xu hướng chuyển động chung của



Hình 13. Diễn biến của dòng khí trong xi lanh tại các mặt cắt



Hình 14. Diễn biến xoáy lốc trong xylanh theo hướng đúng



Hình 15. Xu hướng chuyển động của dòng môi chất trong quá trình nén tại các mặt cắt vuông góc đường kính xylanh

ng khí nạp được biểu diễn như hình 1. Dòng khí nạp có xu hướng chuyển động ngược chiều kim đồng hồ và tạo xoáy tại phía bên trái đường nối tâm xi xupap. Đây là kết quả ảnh hưởng của kết cấu đường nạp, vị trí tương đối của xupap cũng như vị trí của buồng cháy trong xylanh.

### 3.3. Diễn biến quá trình nén

Hình 15 thể hiện chuyển động của dòng khí trong xylanh tại các mặt cắt  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ . Kết quả mô phỏng cho thấy, xu hướng của các chuyển động trong quá trình này vẫn là chuyển động xoáy theo swirl quanh đường tâm xylanh. Điều dễ thấy rằng chuyển động tại các điểm này hầu hết đã không còn

sự nhiễu loạn do xupap nạp đã đóng hoàn toàn (là vị trí  $214^\circ\text{TK}$ ).

Ở quá trình nén, dòng khí không chỉ chuyển động xoáy tròn quanh đường tâm xylanh mà còn bị chèn ép mạnh vào không gian buồng cháy trên đỉnh piston. Xét thời điểm  $360^\circ\text{TK}$  tại mặt cắt  $Z_3$ , cho thấy trong buồng cháy chuyển động xoáy tròn quanh trục Z cũng xảy ra. Xoáy lốc có tốc độ không quá cao, chỉ đạt khoảng vài chục m/s. Đây là điều kiện lý tưởng để quá trình cháy xảy ra [4], nếu tốc độ xoáy lốc quá lớn có thể gây ảnh hưởng xấu đến quá trình phun nhiên liệu cũng như quá trình cháy.

khoảng thời gian tương ứng  $2,5^\circ\text{TK}$  sau khi phun, tia phun gặp dòng không khí chuyển động và bị xé nhỏ một phần. Đồng thời phần lõi của tia nhiên liệu gồm các hạt nhiên liệu có kích thước lớn tiếp tục di chuyển và chạm vào thành buồng cháy. Phần nhiên liệu bị xé nhỏ chính là phần nhiên liệu chuẩn bị cho quá trình cháy trễ. Lượng nhiên liệu nhiên liệu này chiếm khoảng 40% tổng lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình [4]. Sau thời gian cháy trễ hòa khí này sẽ bốc cháy và tạo thành ngọn lửa khuếch tán. Theo lý thuyết, lượng nhiên liệu còn lại bám vào thành buồng cháy tạo thành màng, được gia nhiệt bởi ngọn lửa nên sẽ bay hơi từng lớp rồi được dòng khí xoáy cuốn dần vào không gian buồng cháy tạo thành hòa khí và cháy. Năng lượng tạo thành hòa khí chủ yếu là động năng của không khí và một phần nhỏ hơn là động năng của tia nhiên liệu. Trong phần mô phỏng này ta chỉ xét quá trình phun nhiên liệu mà không xét đến quá trình cháy, vì vậy không quan sát được quá trình bay hơi nhiên liệu do ngọn lửa gia nhiệt.

Bảng 3. Thông số đầu vào của mô hình nhiên liệu [2]

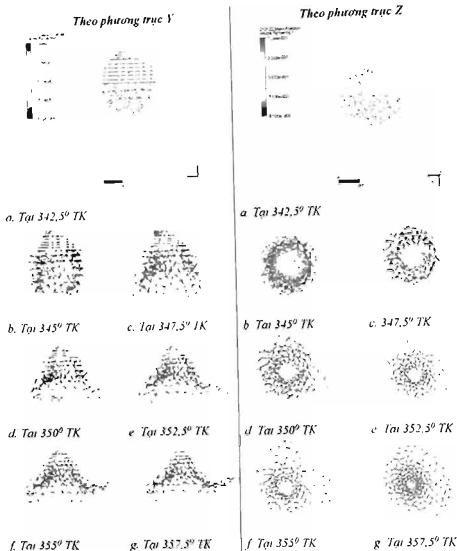
| Thông số                                                 | Giá trị                      |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|
| Nhiên liệu                                               | Diesel                       |
| Công thức hóa học                                        | $\text{C}_{12}\text{H}_{22}$ |
| Tỷ trọng ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )                      | 850                          |
| Nhiệt dung đẳng áp ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ) | 2090                         |
| Độ dẫn nhiệt ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )        | 0,149                        |
| Độ nhớt ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ )            | 0,0024                       |
| Nhiệt ẩn ( $\text{J}/\text{kg}$ )                        | 277000                       |
| Nhiệt độ bay hơi ( $\text{K}$ )                          | 341                          |
| Nhiệt độ sôi ( $\text{K}$ )                              | 477                          |

Quan sát quá trình phát triển của tia nhiên liệu, ta thấy, tia phun có phần bị lệch phương do xoáy lốc trong buồng cháy. Có thể thấy rõ tia nhiên liệu bị lệch theo sự phát triển của tia phun theo góc quay trục khuỷu. Điều này gây ảnh hưởng xấu tới độ đồng đều của hòa khí trong xylanh, tia nhiên liệu cũng sẽ gây ảnh hưởng xấu tới quá trình cháy. Xoáy lốc phù hợp giúp xé nhỏ nhiên liệu cũng

### 3.4. Diễn biến quá trình phun nhiên liệu

Quá trình hình thành hỗn hợp trong động cơ diesel có đặc thù riêng với vai trò quyết định của việc phun nhiên liệu và xylanh ở cuối quá trình nén. Trong nghiên cứu này, quá trình phun diễn ra trong khoảng thời gian  $15^\circ\text{TK}$  từ thời điểm  $340^\circ$  đến  $355^\circ\text{TK}$ . Một số thông số cơ bản được cài đặt cho quá trình phun được thể hiện trong Bảng 3.

Hình 16 biểu diễn quá trình phun nhiên liệu tại các góc quay TK khác nhau. Kết quả cho thấy quá trình phát triển của tia phun qua hai hình chiếu của tia nhiên liệu ứng với mỗi góc quay TK. Tại thời điểm  $342,5^\circ\text{TK}$  tức sau



Hình 16. Sự phát triển của tia nhiên liệu diesel trong buồng cháy

như tăng khả năng hòa trộn nhiên liệu với không khí nhưng cũng có thể gây ảnh hưởng xấu đến quá trình phát triển tia phun như đã thấy trong kết quả mô phỏng trên.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu sử dụng phần mềm Ansys ICE để xây dựng mô hình và mô phỏng diễn biến quá trình nạp, nén và phun nhiên liệu trong xy lanh động cơ diesel buồng cháy thống nhất, kết quả có thể tóm tắt như sau:

- Xây dựng và thiết lập các thông số mô phỏng với mô hình động cơ D1146, kiểm chứng độ tin cậy của mô hình thông qua so sánh diễn biến áp suất xy lanh ở quá trình nén không cháy

giữa mô phỏng và đo đạc thực tế.

- Mô phỏng diễn biến của quá trình nạp, quá trình phun nhiên liệu trong buồng cháy, kết quả mô phỏng cho thấy:

- + Do đặc điểm kết cấu đường nạp đang tròn ốc, kết hợp với buồng cháy thống nhất đặt lệch tâm so với đường tâm xy lanh tạo nên chuyển động xoáy lốc của dòng khí nạp chèn ép vào không gian buồng cháy trên đỉnh piston, điều này có tác dụng cải thiện được quá trình hình thành hỗn hợp.

- + Do đặc điểm buồng cháy và bố trí vòi phun, hỗn hợp nhiên liệu không khí được hình thành theo kiểu thể tích màng. Sự hình thành và phát triển của

tia nhiên liệu trong buồng cháy bị ảnh hưởng nhiều bởi sự chuyển động xoáy lốc của dòng khí nạp.

**Phản biện khoa học: TS. Trần Quang Việt**

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ANSYS, Inc (2010), ANSYS FLUENT Theory Guide.
- [2]. ANSYS, Inc (2010), ANSYS FLUENT Tutorial Guide.
- [3]. Nguyen Duc Khanh, et al, "Study of the Effect of Venturi Pipe Structure on Gas Recirculation Capability in EGR System by Using CFD Software", 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on New Renewable Energy, Ho Chi Minh City 2010.
- [4]. Phạm Minh Tuấn, "Lý thuyết động cơ", KHKT Hà Nội, 2013