

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ KHÍ LUÂN HỒI VÀ NHIỆT ĐỘ SẤY NÓNG KHÍ NẠP TỚI ĐẶC TÍNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ HCCI

## STUDY ON THE EXHAUST GAS RECIRCULATION RATIO AND TEMPERATURE OF HEATED AIR IN THE INTAKE – MANIFOLD ON COMBUSTION IN HCCI ENGINE

Vũ Tiến Thu<sup>1</sup>, Đỗ Văn Trần<sup>2</sup>, Lê Hoài Đức<sup>2</sup>, Khương Thị Hà<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Học viên Cao học, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải  
<sup>2</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả ảnh hưởng của tỷ lệ khí luân hồi và nhiệt độ sấy nóng khí nạp tới đặc tính cháy của động cơ HCCI. Nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm mô phỏng AVL – BOOST. Động cơ được sử dụng cho nghiên cứu là động cơ một xylanh Kubota BD178F(E) với đường nạp đã được cải tiến. Các chế độ làm việc của động cơ mô phỏng là: Tốc độ từ 1.200 vg/ph đến 3.200 vg/ph; Các chế độ tải: 10%, 20%, 30% và 50%. Kết quả mô phỏng cho thấy: Động cơ HCCI hoạt động ổn định tại tốc độ 2.400vg/ph và 50% tải; Tăng tỷ lệ luân hồi thời điểm bắt đầu cháy muộn dần, không nên tăng tỷ lệ luân hồi quá 40%; Tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp thời điểm bắt đầu cháy sớm dần, không nên tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp quá 90°C.

**Từ khóa:** Cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI); Thời điểm cháy (SOC); Tỷ lệ khí luân hồi.

### ABSTRACT

This article presented the simulation results on AVL Boost software about the exhaust gas recirculation ratio and temperature of heated air in the intake – manifold on combustion in HCCI engine. The simulation process was carried out on a single cylinder engine Kubota BD178F(E) equipped with the modified intake manifold at engine speed from 1200rpm to 3200 rpm and Load modes: 10%, 20%, 30% and 50%. The simulation results showed that: The HCCI engine can operate stably at speed 2400rpm, 50% loading. Increasing the rate of exhaust gas recirculation the start of combustion being late, hence do not increase the exhaust gas recirculation ratio more than 40%. Increasing the temperature of heated air in the intake – manifold the start of combustion being soon so do not increase the temperature of heated air in the intake – manifold over 90°C.

**Keywords:** Homogeneous charge compression ignition (HCCI), start of combustion (SOC), exhaust gas recirculation ratio (ERG ratio).

**1. LỜI MỞ ĐẦU**

Động cơ cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (Homogeneous charge compression ignition - HCCI), hiện nay đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu bởi có các ưu điểm sau: Phát thải NO<sub>x</sub> thấp, bồ hóng rất thấp, công suất tương đương với động cơ phun xăng trực tiếp và có khả năng tiết kiệm nhiên liệu. Tuy nhiên, bên cạnh việc khó khăn trong điều kiện thực nghiệm, động cơ HCCI còn có hạn chế trong việc điều khiển quá trình cháy. Do đó, trong nội dung nghiên cứu này sẽ trình bày kết quả mô phỏng ảnh hưởng của tỷ lệ khí luân hồi và nhiệt độ sấy nóng khí nạp tới đặc tính cháy HCCI, nhằm có những nghiên cứu sơ khởi cho việc điều khiển quá trình cháy HCCI sau này.

**2. QUY TRÌNH MÔ PHỎNG**

**2.1. Lý thuyết mô phỏng**

Trong mô hình mô phỏng AVL Boost, các mô hình được sử dụng bao gồm mô hình truyền nhiệt của Woschni [8], mô hình cháy HCCI một vùng [7]. Theo lý thuyết nhiệt động học I, thông số dQF/dα của mô hình cháy HCCI [14] được xác định như sau:

$$\frac{dQ_F}{d\alpha} = \sum_{i=1}^n u_i \cdot MW_i \cdot \dot{\omega}_i \quad (1)$$

Tỷ lệ theo khối lượng các thành phần được tính toán như sau:

$$\rho \frac{dw_i}{d\alpha} = MW_i \cdot \dot{\omega}_i \quad (2)$$

Trong đó:

- n - Số lượng các thành phần trong khí [-];
- MW - Khối lượng mol thành phần [kg/kmol];
- u - Nội năng thành phần [J/kg.K];

w - Tỷ lệ khối lượng các thành

phần [-];

ρ - Khối lượng riêng của hỗn

hợp [kg/m<sup>3</sup>];

ω - Tốc độ phản ứng [kmol/

m<sup>3</sup>s].

**2.2. Đối tượng và nhiên liệu mô phỏng**

Đối tượng mô phỏng là động cơ diesel Kubota BD178F (E) 1 xy lanh 4 kỳ, không tăng áp, làm mát bằng không khí, có 2 xupap (1 nạp và 1 xả) và sử dụng buồng cháy thông nhất có các thông số kỹ thuật như trong bảng 1.

Nhiên liệu được sử dụng trong mô phỏng là n-heptane với các tính chất cơ bản như trong bảng 2.

*Bảng 1. Các thông số cơ bản của động cơ:*

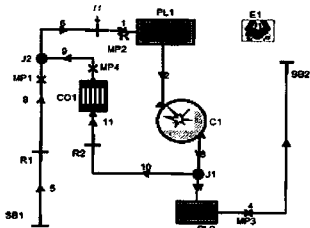
STT	Thông số	Giá trị
1	Đường kính xylanh, (D)	78 [mm]
2	Hành trình piston, (S)	57 [mm]
3	Thể tích công tác, (V <sub>c</sub> )	273 [cm <sup>3</sup> ]
4	Tỷ số nén, (ε)	15,4 [-]
5	Công suất định mức N <sub>c<sub>em</sub></sub> / n <sub>em</sub>	4.0/3600 [kW/ vg/ph]
6	Mômen cực đại M <sub>c<sub>em</sub></sub> / n <sub>em</sub>	13/2000 [Nm/ vg/ph]
7	Suất tiêu hao nhiên liệu g <sub>c<sub>em</sub></sub> / n <sub>em</sub>	362/2400 [g/ kW.h/vg/ph]

*Bảng 2. Tính chất nhiên liệu:*

Tính chất	Giá trị
Công thức hoá học	n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
Khối lượng mol	100,16 g/mol
Khối lượng riêng	0,692 g/ml
Nhiệt trị thấp	44,5 MJ/kg
Nhiệt ẩn	0,317 MJ/kg
Hệ số A/F	15,132

### 2.3. Mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng được xây dựng dựa vào kết cấu thực tế của động cơ, để thiết lập đặc tính cháy HCCI thì đường nạp được cải tiến để cấp nhiên liệu n heptan bên ngoài xy lanh, nhờ phần tử vòi phun II được bố trí trên đoạn ống P6-1, nhiên liệu sau đó hòa trộn với không khí trong phần tử PL1 trước khi vào xy lanh C1 thông qua đường ống P2, sau đó khí xả được đưa ra ngoài nhờ các phần tử đường ống P3, phần tử PL2 và SB2. Khí luân hồi được trích một phần từ đường ống xả nhờ phần tử J1, khí luân hồi được đưa vào ống P10, được làm mát nhờ CO1, qua phần tử đường ống P9 hòa nhập với khí nạp nhờ phần tử J2. Sau khi kết nối ta có mô hình động cơ ta có mô hình mô phỏng động cơ Kubota BD178F(E) trên AVL – BOOST hoạt động theo nguyên lý HCCI, động cơ này trang bị thêm hệ thống luân hồi khí xả như trên hình 1.



Hình 1. Mô hình mô phỏng động cơ HCCI trong AVL – Boost

### 2.4. Chế độ mô phỏng

Mô phỏng ảnh hưởng khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi và nhiệt độ khí nạp tới động cơ HCCI, với tỷ lệ luân hồi lần lượt là: 0 %;

10,1%; 20%; 30,1% và 40,5%; nhiệt độ sấy nóng khí nạp thay đổi từ 50°C+90°C, 10°C/điểm chia. Chế độ mô phỏng:

- Chế độ tốc độ từ 1.200 vg/ph đến 3.200 vg/ph với khoảng chia 400 vg/ph.

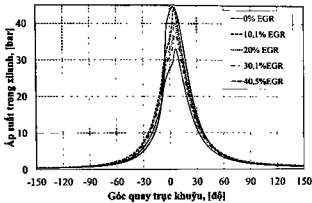
- Chế độ tải: 10%, 20%, 30% và 50% tương ứng với mô men có giá trị lần lượt là: 1,24 (N.m); 2,48 (N.m); 3,72 (N.m) và 6,2 (N.m).

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

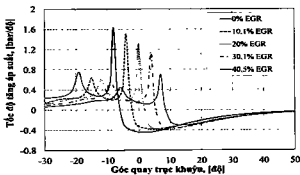
Kết quả mô phỏng động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ luân hồi và nhiệt độ sấy nóng khí nạp gồm: Đặc tính cháy, thông số có ích và chỉ thị của động cơ HCCI. Với giải pháp phun n heptan trên đường ống nạp của động cơ đã thiết lập được đặc tính cháy HCCI, khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi và nhiệt độ sấy nóng khí nạp động cơ HCCI hoạt động ổn định tới tốc độ 2400vg/ph và 50% tải, chính vì vậy, các kết quả mô phỏng dưới đây chỉ trình bày tại tốc độ 2.400vg/ph và 50% tải.

### 3.1. Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của tỷ lệ khí luân hồi

Các kết quả mô phỏng về đặc tính cháy HCCI của động cơ khi thay đổi tỷ lệ luân hồi bao gồm: Áp suất, tốc độ tăng áp suất, tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh được thể hiện qua các hình 2, hình 3 và hình 4. Khi tăng tỷ lệ khí luân hồi áp suất, tốc độ tăng áp suất, tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh giảm dần, giá trị cực đại tại 40,5% EGR giảm rất nhanh do đó không nên tăng tỷ lệ luân hồi quá 40%.

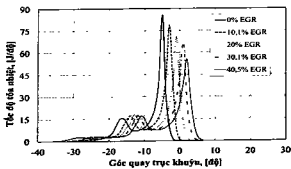


Hình 2. Áp suất của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi

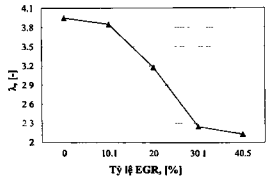


Hình 3. Tốc độ tăng áp suất của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi

Hệ số dư không khí của động cơ HCCI khi mô phỏng thay đổi tỷ lệ khí luân hồi được thể hiện qua hình 5,  $\lambda$  giảm dần khi tăng tỷ lệ luân hồi nên thời điểm bắt đầu cháy sẽ muộn dần.

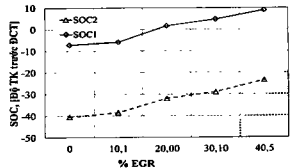


Hình 4. Tốc độ tỏa nhiệt của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi

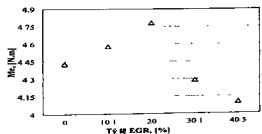


Hình 5. Hệ số dư không khí của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi

Thời điểm bắt đầu cháy của động cơ (SOC – Start of combustion) HCCI khi mô phỏng thay đổi tỷ lệ khí luân hồi được thể hiện qua hình 6, SOC1 – Thời điểm bắt đầu hình thành ngọn lửa lạnh, SOC2 – Thời điểm bắt đầu hình thành ngọn lửa nóng giảm dần khi tăng tỷ lệ luân hồi, quá trình cháy muộn dần sẽ cải thiện được các chỉ tiêu kỹ thuật của động cơ.



Hình 6. Thời điểm bắt đầu cháy của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi



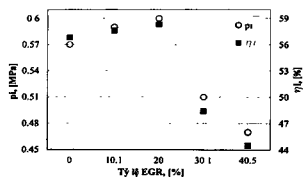
Hình 7. Các thông số có ích của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi

Thông số có ích của động cơ khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi được thể hiện qua hình 7, mô men của động cơ tăng dần và đạt giá trị lớn nhất tại 20% EGR, tiếp tục tăng tỷ lệ luân hồi thì mô men có ích giảm dần, tại 40,5% EGR thì giảm rất nhanh.

Các thông số chỉ thị của động cơ khi tăng tỷ lệ luân hồi được thể hiện qua hình 8, áp suất chỉ thị trung bình và hiệu suất chỉ thị tăng dần và đạt giá trị lớn nhất tại 20% EGR, tiếp tục tăng tỷ lệ luân hồi thì các thông số chỉ thị giảm dần, tại 40,5% EGR thì giảm rất nhanh.

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ luân hồi đến quá trình HCCI thấy rằng:

- Tăng tỷ lệ luân hồi động cơ vẫn làm việc theo nguyên lý HCCI;
- Thời điểm bắt đầu cháy muộn dần;
- Không nên tăng tỷ lệ luân hồi quá 40%.

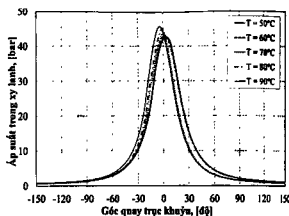


Hình 8. Các thông số chỉ thị của động cơ HCCI khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi

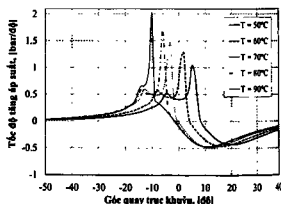
### 3.2. Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của nhiệt độ sấy nóng khí nạp

Các kết quả mô phỏng về đặc tính cháy HCCI của động cơ khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp bao gồm: Áp suất, tốc độ tăng áp suất, tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh được thể hiện qua các hình 9, hình 10 và hình 11. Khi

tăng nhiệt độ khí nạp áp suất, tốc độ tăng áp suất, tốc độ tỏa nhiệt, nhiệt độ trong xy lanh tăng dần, đến 80°C diễn biến nhiệt độ trong xy lanh bắt đầu bất thường, 90°C thì không thể quy luật nữa, thời điểm bắt đầu cháy sớm dần

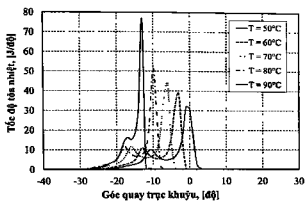


Hình 9. Áp suất của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp

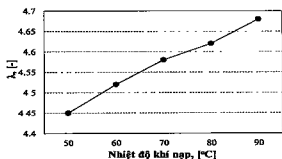


Hình 10. Tốc độ tăng áp suất của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp

Hệ số dư không khí của động cơ HCCI khi mô phỏng thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp được thể hiện qua hình 12, khi tăng nhiệt độ khí nạp  $\lambda$  tăng nhưng không đáng kể đồng thời thời điểm bắt đầu cháy sẽ sớm dần

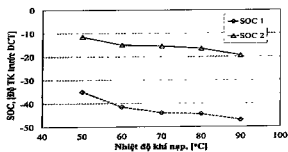


Hình 11. Tốc độ tỏa nhiệt của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp

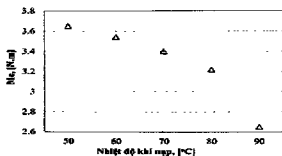


Hình 12. Hệ số dư không khí của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp

Thời điểm bắt đầu cháy của động cơ HCCI khi mô phỏng thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp được thể hiện qua hình 13, SOC1, SOC2 giảm dần khi tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp, quá trình cháy sớm dần ảnh hưởng các chỉ tiêu kỹ thuật của động cơ.



Hình 13. Thời điểm bắt đầu cháy của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp



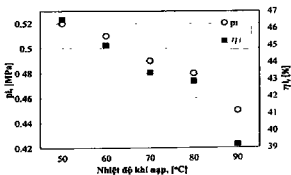
Hình 14. Các thông số có ích của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp

Thông số có ích của động cơ khi tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp được thể hiện qua hình 14, mô men giảm dần, từ 90°C thì thông số có ích giảm rất nhanh.

Các thông số chỉ thị của động cơ khi tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp được thể hiện qua hình 15, áp suất chỉ thị trung bình và hiệu suất chỉ giảm dần, từ 90°C thì giảm rất nhanh.

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ sấy nóng khí nạp đến quá trình HCCI thấy rằng:

- Tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp động cơ vẫn làm việc theo nguyên lý HCCI;
- Thời điểm bắt đầu cháy sớm dần;
- Không nên tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp quá 90°C.



Hình 15. Các thông số chỉ thị của động cơ HCCI khi thay đổi nhiệt độ sấy nóng khí nạp

## I. KẾT LUẬN

Đã xây dựng được mô hình mô phỏng động cơ HCCI được trang bị thêm hệ thống luân hồi khí xả và sấy nóng khí nạp. Khi thay đổi tỷ lệ khí luân hồi và nhiệt độ sấy nóng khí nạp động cơ HCCI hoạt động ổn định tới tốc độ 2.400v/ph và 50% tải.

Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của tỷ lệ luân hồi đến quá trình HCCI: Tăng tỷ lệ luân hồi động cơ vẫn làm việc theo nguyên lý HCCI, tuy nhiên thời điểm bắt đầu cháy muộn dần và không nên tăng 40%.

Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của nhiệt độ sấy nóng khí nạp đến quá trình HCCI: Tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp động cơ vẫn làm việc theo nguyên lý HCCI, tuy nhiên thời điểm bắt đầu cháy sớm dần và không nên tăng quá 90°C. ♦

Ngày nhận bài: 08/5/2018

Ngày phản biện: 15/5/2018

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Akhilendra Pratap Singh, Avinash Kumar Agarwal (2016), "Effect of intake charge temperature and EGR on Biodiesel fuelled HCCI engine", SAE technical Paper 2016-28-0257.
- [2]. Christensen M. (2002), *HCCI combustion, PhD thesis*, Lund University, Faculty of Engineering.
- [3]. Dongwon Jung a,\*, Norimasa Iida b (2014), "Closed-loop control of HCCI combustion for DME using external EGR and rebreathed EGR to reduce pressure-rise rate with combustion-phasing retard", *Applied Energy* 138 (2015) 315–330.
- [4] Hampson GJ. Heat release design method for HCCI in diesel engines. SAE paper 2005-01-3728; 2005.
- [5]. Hosseini V, Checkel MD. Using reformer gas to enhance HCCI combustion of NG in a CFR engine. SAE paper 2006-01-3247; 2006.
- [6]. Gan S, Ng HK, Pang KM. Homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion: implementation and effects on pollutants in direct injection diesel engines. *Appl Energy* 2011;88:559–67.
- [7]. C. Baumgarten (2005), *Mixture formation in Internal Combustion Engines*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- [8]. Buchwald. R, et al. (2004), "Adaption of injection system parameters to homogeneous diesel combustion", *SAE Paper* 2004-01-0936.
- [9]. Hardy W, Reitz R D., (2006), "A study of the effects of high EGR, high equivalence ratio, and mixing time on emissions levels in a heavy-duty Diesel engine for PCCI combustion", SAE, paper 2006-01-0026.
- [10]. Zhao H, Peng Z, Ladommatos N. Understanding of controlled autoignition combustion in a four-stroke gasoline engine. *Proc Inst Mech Eng Part D: J Autom Eng* 2001;215(3):1297–310.
- [11]. Morimoto S, Kawabata Y, Sakurai T, Amano T. Operating characteristics of a natural gas-fired homogeneous charge compression ignition engine (performance improvement using EGR). SAE paper 2001-01-1034; 2001.
- [12]. Machrafi H, Cavadias S, Guibert P. An experimental and numerical investigation on the influence of external gas recirculation on the HCCI autoignition process in an engine: thermal, diluting, and chemical effects. *Combust Flame* 2008;155:476–89.
- [13]. Machrafi H, Cavadias S, Amouroux J. A parametric study on the emissions from an HCCI alternative combustion engine resulting from the auto-ignition of primary reference fuels. *Appl Energy* 2008;85:755–64.
- [14]. AVL-List GmbH (2009), BOOST v.2009 Users Guide & Theory, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, Austria. }