

Nghiên cứu ảnh hưởng tăng áp tới đặc tính cháy HCCI trên động cơ một xy lanh sử dụng nhiên liệu n-heptane

KS. ĐỖ VĂN TRẦN

ThS. KHƯƠNG THỊ HÀ

Trường Đại học Giao thông vận tải

TS. TRẦN THỊ THU HƯƠNG

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đặc tính cháy HCCI của động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu n-heptane khi tăng áp. Nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm mô phỏng AVL - BOOST. Động cơ sử dụng cho nghiên cứu là động cơ một xy lanh AVL 5402 với đường nạp được cải tiến và được lắp thêm bộ tăng áp tuabin - máy nén. Chế độ mô phỏng là tốc độ 2000 vòng/phút, lượng nhiên liệu chu trình thay đổi từ 10 - 11,2 mg với bước thay đổi 0,4mg, ứng với mỗi giá trị của lượng nhiên liệu chu trình áp suất khí nạp biến thiên từ 1 - 1,3 bar. Kết quả nghiên cứu cho thấy thời điểm bắt đầu cháy diễn ra sớm hơn và công suất động cơ tăng khi tăng áp suất nạp và tăng tải.

Abstract: This papers presents a research on HCCI combustion characteristics of a single cylineder internal combustion (IC) engine, named AVL-5402, fueled with n-heptane under different intake pressures (from 1 bar to 1.3 bar) using a turbocharger. The research was carried out on AVL Boost software. The engine simulation condition speed is 2000 rpm, fuel mass per cycle was 10, 10.4, 10.8 and 11.2 mg. The simulation results showed that when the inlet air pressure and engine load increase, the start ignition timing and the engine power increase.

Từ khóa: Cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI), áp suất nạp, n-heptane.

1. Giới thiệu chung

Một trong những mối quan tâm lớn của nhiều nhà khoa học, nhà sản xuất và các quốc gia là tìm kiếm và phát triển các nguồn năng lượng mới, tái tạo và ứng dụng phát triển các phương tiện GTVT, do nhu cầu năng lượng ngày càng tăng cùng với sự hạn chế của trữ lượng dầu mỏ và tác động xấu đến môi trường do phát thải từ phương tiện giao thông. Các xu hướng đang thu hút được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực liên quan bao gồm: Giảm phát thải độc hại và xử lý khí thải, nhiên liệu thay thế, cải tiến quá trình cháy và tìm kiếm các ý tưởng mới nhằm tiết kiệm nhiên liệu [1]. Để đáp ứng yêu cầu đó, các nhà khoa học tập trung nghiên cứu trên nhiều phương diện khác nhau, trong đó có cải tiến quá trình cháy và tìm ra các mô hình cháy mới. Onishi [2] đã đưa ra giải pháp sử dụng mô hình cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI). Phương pháp này cho phát thải NO_x rất thấp và phát thải bồ hóng gần như bằng không trong

khi hiệu suất của động cơ tương đương hoặc cao hơn so với động cơ diesel thông thường [3,4]. Tuy nhiên, việc điều khiển quá trình cháy vẫn còn là thách thức lớn, hàm lượng phát thải CO và HC cao và khó khăn trong việc mở rộng dải tải trọng làm việc của động cơ [5,6]. Vì vậy, việc tìm ra một phương án tối ưu điều khiển đặc tính cháy HCCI là rất cần thiết. Hiện nay, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu nhằm tìm ra các thông số có thể điều khiển được như: Tỷ số nén, áp suất nạp, nhiệt độ khí nạp, luân hồi khí xả, đặc điểm phun, áp suất phun... [7]. Trong những thông số điều khiển trên thì thông số áp suất nạp được dùng để điều khiển quá trình cháy thông qua việc làm tăng vận động rối và tăng nhiệt độ để nhiên liệu dễ bay hơi hơn và tạo thành hỗn hợp đồng nhất khi cho nhiên liệu phun trên đường nạp.

Mustafa Canakci [8] đã thực hiện các thử nghiệm nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của tăng áp cho khí nạp đến sự hoạt động và phát thải trên động cơ xăng DI-HCCI. Các thí nghiệm được thực hiện tại ba giá trị áp suất không khí đầu vào là 14,7 psi (1,01 bar), 17 psi (1,17 bar) và 20 psi (1,38 bar) trong khi vận hành động cơ với hệ số dư lượng không khí 4,54 và nhiệt độ không khí nạp là 119°C. Nghiên cứu khẳng định, khi tăng áp suất nạp thì thời điểm bắt đầu cháy diễn ra sớm hơn, hiệu suất nhiệt tăng, nhiệt độ khí xả tăng và mô men động cơ tăng. Đồng thời, phát thải CO tăng, phát thải HC giảm xuống. Ở mỗi giá trị áp suất nạp trong dải tốc độ động cơ xu hướng phát thải NO_x ngược với phát thải HC. Phát thải NO_x tăng lên cùng với tốc độ động cơ. Sự hình thành NO_x rất nhạy cảm với thời điểm bắt đầu cháy, điều này được cho là do sự phụ thuộc nhiều vào tính đồng nhất của hỗn hợp.

Nghiên cứu của Hua Zhao [9] về HCCI được thực hiện trên động cơ 4 xy lanh sử dụng tăng áp tua bin máy nén có hiệu suất 0,64. Tác giả sử dụng phần mềm mô phỏng một chiều nghiên cứu hiệu suất và đặc tính phát thải của động cơ. Nghiên cứu khẳng định hiệu suất nhiệt có thể tăng lên khi tăng tỷ số nén và áp suất tăng áp thấp. Trên động cơ có tỷ số nén 21 và áp suất tăng áp là 1,9 bar, hiệu suất nhiệt có thể lên đến 0,43 trong khi phát thải NO_x chỉ còn 10ppm hoặc thấp hơn.

Các nghiên cứu trên mặc dù đã xét đến ảnh hưởng của áp suất tăng áp đến hoạt động, hiệu suất và phát thải của động cơ HCCI, có nghiên cứu trên động cơ

xăng, có nghiên cứu trên động cơ diesel, tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào xác định ảnh hưởng của áp suất khí nạp đến đặc tính cháy HCCI. Vì vậy, tác giả đã lựa chọn hướng nghiên cứu này, với bước đầu nghiên cứu mô phỏng thông qua phần mềm mô phỏng 1 chiều AVL BOOST nhằm có những định hướng chính xác hơn cho quá trình nghiên cứu thực nghiệm trong tương lai.

2. Nghiên cứu mô phỏng

2.1. Lý thuyết mô phỏng

Trong mô hình mô phỏng sử dụng trên AVL Boost, tác giả sử dụng mô hình truyền nhiệt của Woschni [10] và mô hình cháy HCCI một vùng [11]. Theo lý thuyết nhiệt động học I, tốc độ tỏa nhiệt $dQ_F/d\alpha$ của mô hình cháy HCCI được xác định như sau:

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

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

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

Trong đó:

- n - Số lượng các thành phần trong khí [-]
- MW_i - Khối lượng mol thành phần [kg/kmol]
- u_i - Nội năng thành phần [J/kg.K]
- w_i - Tỷ lệ khối lượng các thành phần [-]
- ρ - Khối lượng riêng của hỗn hợp [kg/m³]
- $\dot{\omega}$ - Tốc độ phản ứng [kmol/m³s]

2.2. Đối tượng mô phỏng

Động cơ mô phỏng là động cơ nghiên cứu một xy lanh AVL 5402 với đường nạp được cải tiến lắp thêm vòi phun để cung cấp nhiên liệu bên ngoài xy lanh. Các thông số kỹ thuật của động cơ được trình bày cụ thể trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ AVL 5402

Thông số	Giá trị
Kiểu động cơ	1 xy lanh, 4 kỳ
Đường kính xy lanh	85 mm
Hành trình piston	90 mm
Dung tích xy lanh	510,7 cm ³
Tỷ số nén	17,3:1
Xupap nạp	Mở sớm 16 ^o TK Đóng muộn 46 ^o TK
Xupap thải	Mở sớm 53,5 ^o TK Đóng muộn 16,5 ^o TK

Nhiên liệu được sử dụng trong mô phỏng là n-heptane với một số tính chất hóa lý cơ bản như trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính chất nhiên liệu n-heptane

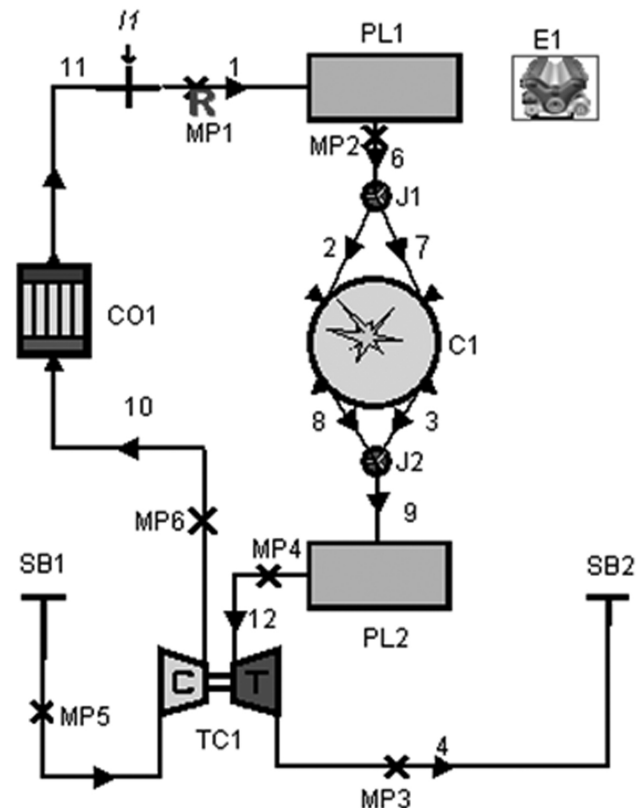
Tính chất	Giá trị
Công thức hóa học	n-C ₇ H ₁₆
Khối lượng mol	100,16 g/mol
Khối lượng riêng	0,692 g/ml
Nhiệt trị thấp	44,5 MJ/kg
Nhiệt ẩn hóa hơi	0,317 MJ/kg
Hệ số A/F	15,132

2.3. Xây dựng mô hình

Dựa vào thông số kỹ thuật của động cơ thử nghiệm, mô hình động cơ AVL 5402 được xây dựng trên phần mềm AVL Boost như trong Hình 1.

Bảng 3. Các phần tử trong mô hình động cơ AVL 5402

Ký hiệu	Tên phần tử
MP1, MP2, MP3, MP4, MP5, MP6	Các phần tử điểm đo
TC1	Phần tử tua bin máy nén
CO1	Phần tử bộ làm mát khí nạp
I1	Phần tử vòi phun nhiên liệu
E1	Phần tử động cơ
C1	Phần tử xilanh
J1, J2	Phần tử giắc nối
PL1	Bộ hòa trộn nhiên liệu
PL2	Ống góp xả
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Phần tử đường ống
SB1, SB2	Phần tử điều kiện biên đầu vào, đầu ra



Hình 1: Mô hình động cơ AVL 5402 sau khi lắp thêm bộ tua bin tăng áp

Trong mô hình này cụm tua bin máy nén TC1 được lắp thêm để tăng áp suất nạp cho động cơ, bộ làm mát trung gian CO1 hạn chế nhiệt độ khí nạp tăng quá cao làm giảm hệ số nạp.

2.4. Chế độ mô phỏng

Chế độ làm việc của động cơ mô phỏng được thể hiện trong Bảng 4. Trong đó, tốc độ động cơ là 2000 v/ph. Áp suất nạp được thay đổi từ 1 - 1,3 bar và bốn giá trị lượng nhiên liệu chu trình: 10mg/chu trình; 10,4mg/chu trình; 10,8mg/chu trình; 11,2mg/chu trình. Tại mỗi điểm làm việc đó, các kết quả mô phỏng tốc độ tỏa nhiệt, áp suất trong xy lanh và tốc độ tăng áp

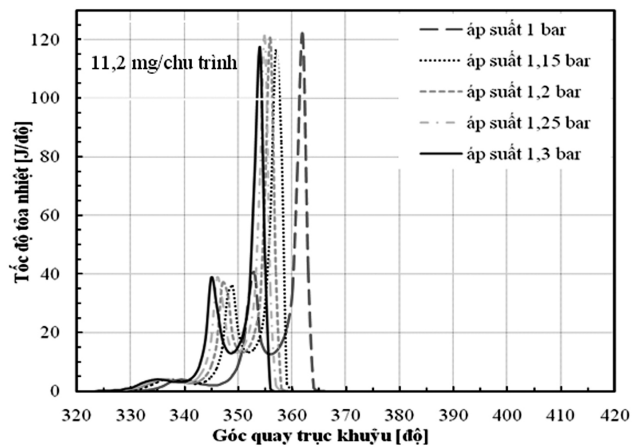
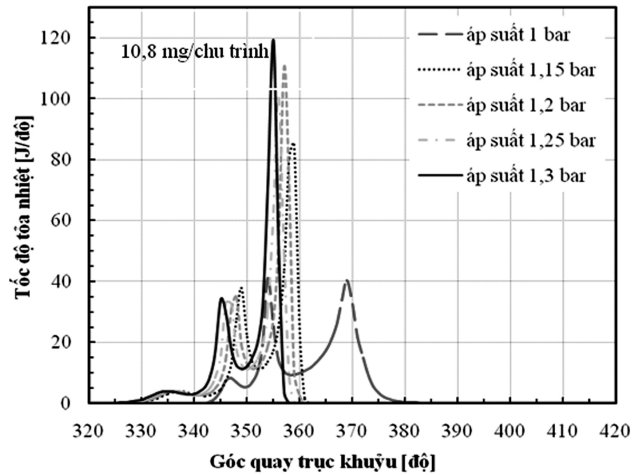
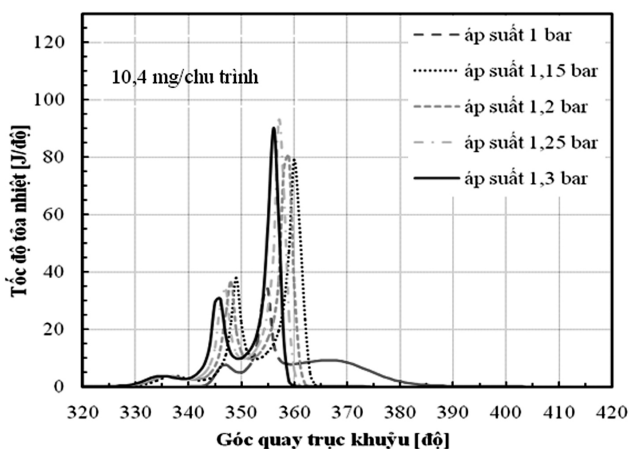
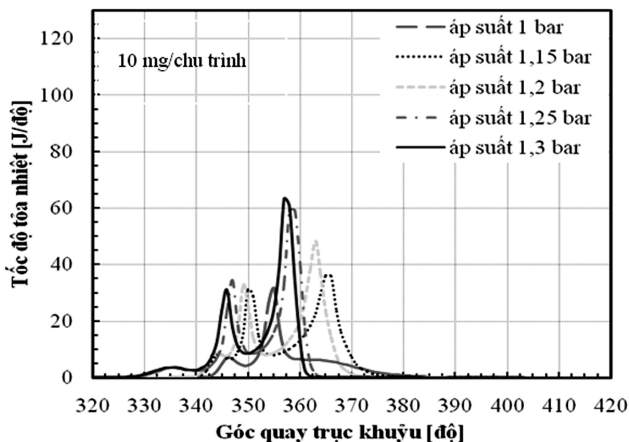
suất xy lanh của động cơ được phân tích để khảo sát ảnh hưởng của các thông số điều khiển quá trình cháy theo nguyên lý HCCI và xác định giá trị tối ưu của các thông số đó cho quá trình làm việc của động cơ HCCI sử dụng nhiên liệu n-heptane.

Bảng 4. Chế độ làm việc của động cơ khi mô phỏng

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

3. Kết quả và thảo luận

Hình 2 thể hiện ảnh hưởng của tăng áp đến tốc độ tỏa nhiệt tại các giá trị lưu lượng cấp chu trình: 10mg/chu trình; 10,4mg/chu trình; 10,8 mg/chu trình; 11,2 mg/chu trình. Kết quả mô phỏng cho thấy, tại tất cả các giá trị của lượng nhiên liệu chu trình, khi tăng áp suất nạp, tốc độ tỏa nhiệt đều tăng và quá trình cháy diễn ra sớm hơn. Đặc biệt, có sự khác biệt rất lớn khi so sánh giữa trường hợp có tăng áp và so với trường hợp không tăng áp (1bar). Điều này có thể được lý giải như sau: Khi áp suất khí nạp tăng làm tăng nhiệt độ và mật độ không khí trong xy lanh và tăng cường khả năng vận động rối của hỗn hợp nhiên liệu và không khí, tăng lượng ô xy tham gia quá trình cháy làm cho hỗn hợp đồng nhất hơn và dễ dàng, nhanh chóng đạt được các điều kiện để quá trình cháy bắt đầu sớm hơn. Vì thế quá trình cháy triệt để hơn dẫn đến tốc độ tỏa nhiệt lớn hơn.

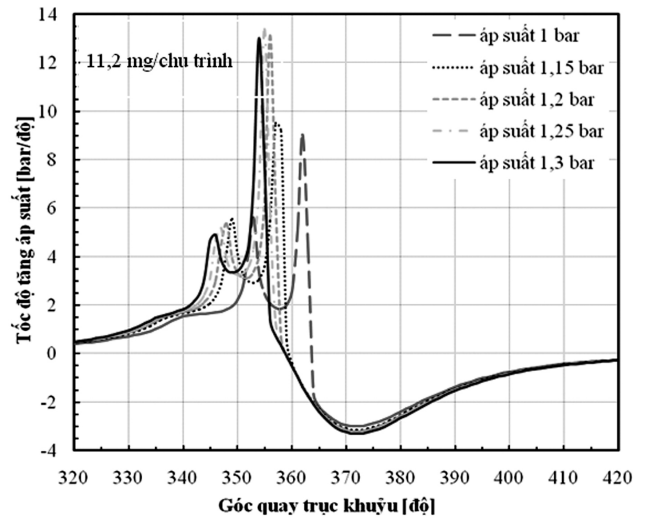
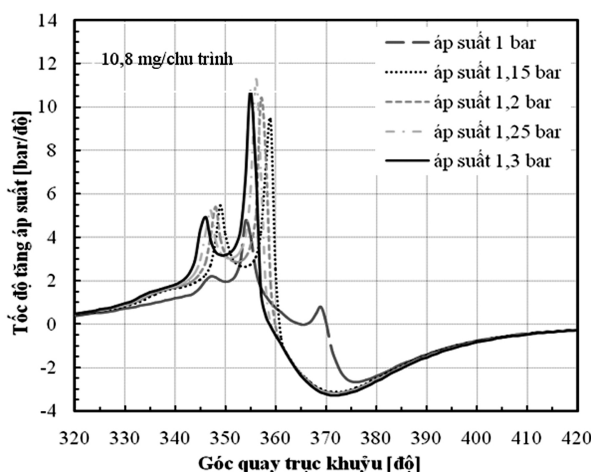
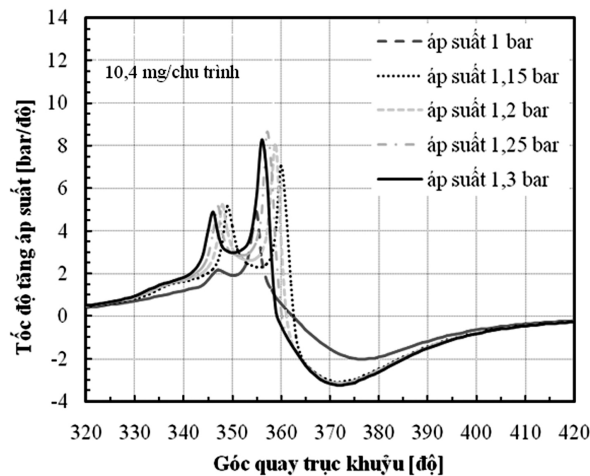
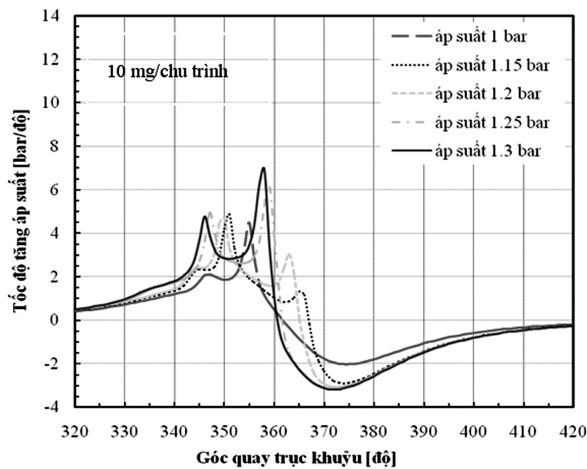


Hình 2: Ảnh hưởng của tăng áp đến tốc độ tỏa nhiệt

Tăng áp làm khối lượng hỗn hợp nạp vào xy lanh trong một chu trình nhiều hơn, do đó khi cố định lượng nhiên liệu trong một chu trình thì hệ số dư lượng không khí tăng lên. Trong trường hợp lượng nhiên liệu cấp là 10 mg/chu trình, áp suất tăng áp lần lượt là $p_1 = 1$ bar; $p_2 = 1,15$ bar; $p_3 = 1,2$ bar; $p_4 = 1,25$ bar; $p_5 = 1,3$ bar thì hệ số dư lượng không khí lần lượt là: $\lambda_1 = 3,74$; $\lambda_2 = 4,00$; $\lambda_3 = 4,04$; $\lambda_4 = 4,15$; $\lambda_5 = 4,23$. Trên Hình 2 cho ta thấy khi lượng nhiên liệu tăng (tăng tải) đường cong tỏa nhiệt dịch dần sang bên trái, tức thời điểm cháy diễn ra sớm hơn, hỗn hợp cháy khi piston đang lên điểm chết trên, tổn thất nhiệt cho môi trường, hiệu suất nhiệt động cơ giảm. Trường hợp lượng nhiên liệu cấp 10 mg/chu trình và 10,4 mg/chu trình cho ta hiệu suất nhiệt cao nhất lần lượt là $\eta_1 = 42,54\%$ và $\eta_2 = 41,26\%$ khi áp suất tăng áp $p = 1,15$ bar. Trường hợp lượng nhiên liệu cấp 10,8 mg/chu trình và 11,2 mg/chu trình hiệu suất nhiệt cao nhất lần lượt là $\eta_3 = 45,09\%$; $\eta_4 = 43,54\%$ khi ta không tăng áp ($p = 1$ bar). Vậy, tăng áp chỉ nên áp dụng trong trường hợp tải nhỏ, làm tăng hiệu suất nhiệt động cơ, do chất lượng hình thành hỗn hợp tốt hơn. Khi động cơ làm việc ở chế độ tải lớn tăng áp không tốt cho động cơ, ngược lại nó còn làm suy giảm hiệu suất nhiệt, động cơ làm việc rung, điều này là do thời điểm cháy diễn ra quá sớm.

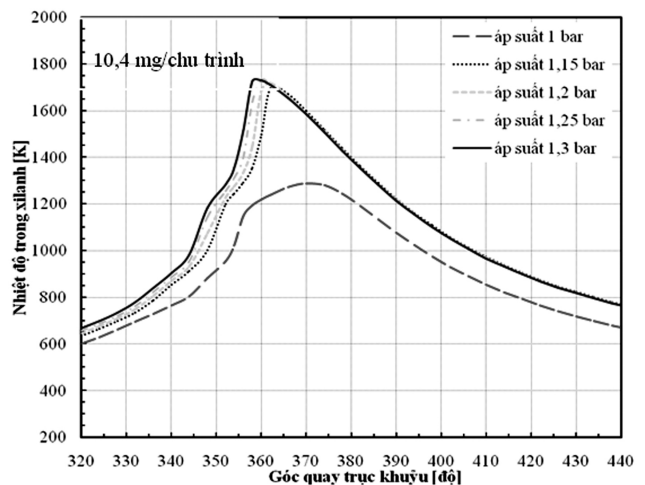
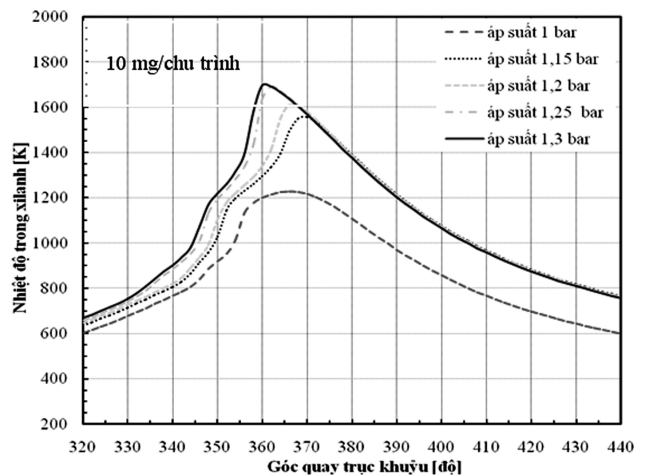
Trên Hình 3 thể hiện ảnh hưởng của tăng áp đến tốc độ tăng áp suất trong xy lanh. Kết quả cho thấy cả khi tăng áp và khi tăng tải tốc độ tăng áp suất đều tăng lên. Khi tốc độ tăng áp suất tăng lên quá cao vượt giới hạn "10 bar/độ" tạo nên các xung áp suất đập vào các bề mặt chi tiết trong buồng cháy, gây nên tiếng gõ danh, sắc. Điều này có thể giải thích là do

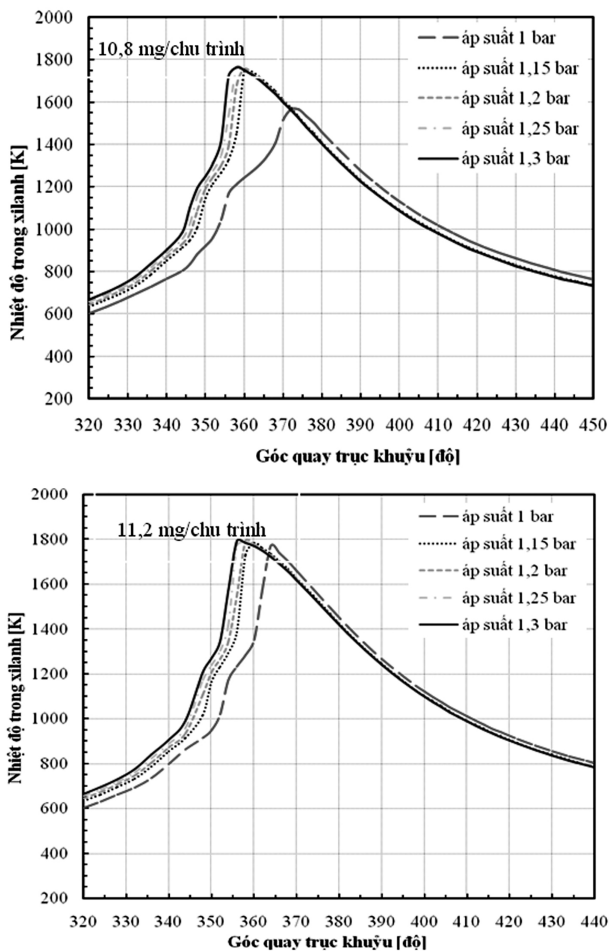
khi tăng áp dẫn đến áp suất cuối quá trình nén và nhiệt độ của hỗn hợp tăng lên, hỗn hợp hòa trộn hoàn hảo hơn. Kết quả là hỗn hợp bùng cháy mạnh mẽ hơn làm cho tốc độ tăng áp suất tăng. Trên đồ thị cho ta thấy khi tăng lượng nhiên liệu chu trình tốc độ tăng áp suất tăng lên, với lượng nhiên liệu chu trình 10mg/chu trình và 10,4mg/chu trình tốc độ tăng áp suất nằm trong giới hạn cho phép, và động cơ làm việc êm dịu hơn. Khi tăng lượng nhiên liệu chu trình (tăng tải), 10,8mg/chu trình và 11,2mg/chu trình, tốc độ tăng áp suất đều lớn hơn “10 bar/độ”, ở chế độ này các chi tiết trong các hệ thống của động cơ chịu các xung áp suất gây va đập có thể dẫn tới hỏng hóc. Vì vậy, để khắc phục hiện tượng này chúng ta tăng áp cao khi động cơ làm việc ở chế độ tải nhỏ còn khi động cơ làm việc ở chế độ tải cao thì tăng áp ít hơn.



Hình 3: Ảnh hưởng của tăng áp tới tốc độ tăng áp suất trong xy lanh

Hình 4 thể hiện nhiệt độ trong xy lanh tại các giá trị lượng nhiên liệu chu trình. Kết quả mô phỏng cho thấy khi tăng áp càng cao nhiệt độ trong xy lanh càng tăng, thời gian đạt nhiệt độ tự cháy của hỗn hợp càng sớm hơn. Điều này được giải thích là do khi tăng áp suất khí nạp, nhiệt độ khí nạp tăng lên, áp suất cuối quá trình nén cũng tăng và lượng không khí tham gia quá trình cháy nhiều hơn dẫn đến điều kiện để hỗn hợp tự cháy đạt sớm hơn và quá trình cháy diễn ra triệt để và đồng bộ hơn dẫn đến nhiệt độ trong xy lanh trước và sau quá trình cháy đều tăng khi áp suất khí nạp tăng.





Hình 4: Ảnh hưởng của tăng áp tới nhiệt độ trong xilanh

4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất tăng áp tới đặc tính cháy HCCI của động cơ sử dụng nhiên liệu n-heptane, ta có thể đưa ra kết luận sau:

- Khi áp suất nạp tăng thời điểm cháy diễn ra sớm hơn, hiệu suất nhiệt và công suất động cơ tăng.

- Ở mỗi chế độ áp suất nạp khi tăng lượng nhiên liệu chu trình thì thời điểm bắt đầu quá trình cháy diễn ra sớm hơn.

- Tăng áp làm tăng hệ số nạp, áp suất và nhiệt độ trong xilanh tăng. Động cơ có thể làm việc ở hỗn hợp nhạt, ít phát thải độc hại.

- Tuy nhiên khi tăng áp quá lớn, đặc biệt ở chế độ tải lớn (lượng nhiên liệu chu trình lớn), tốc độ tăng áp suất trong xy lanh cao, động cơ làm việc rung hơn □

Tài liệu tham khảo

- [1]. AlexM.K.P.Taylor, *Science review of internal combustion engines*, Energy Policy 36, 4657-4667, 2008.
- [2]. Onishi S, Jo SH, Shoda K, Jo PD, Kato S., *Active thermo-atmosphere combustion (ATAC) a new combustion process for internal combustion engines*, SAE paper 790501, 1979.
- [3]. Duret P, Gatellier B, Monteiro L, Miche M, Zima P, Maroteaux D, et al., *Progress in diesel HCCI combustion within the European SPACE LIGHT project*, SAE paper 2004-01-1904, 2004.
- [4]. Sjoberg M, Dec JE, *An investigation of the relationship between measured intake temperature, BDC temperature, and combustion phasing for premixed and DI HCCI engines*, SAE paper 2004-01-1900, 2004.

[5]. Hampson GJ, *Heat release design method for HCCI in diesel engines*, SAE paper 2005-01-3728, 2005.

[6]. Hosseini V, Checkel MD, *Using reformer gas to enhance HCCI combustion of NG in a CFR engine*, SAE paper 2006-01-3247, 2006.

[7]. Suyin Gan, Hoon Kiat Ng, Kar Mun Pang, *Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion, Implementation and effects on pollutants in direct injection diesel engines*, Applied Energy 88, p.559 - 567, 201.

[8]. Mustafa Canakci, *An experimental study for the effects of boost pressure on the performance and exhaust emissions of a DI-HCCI gasoline engine*, Fuel 87, pages 1503-1514, 2005.

[9]. Hua Zhao, *HCCI and CAI engines for the automotive industry*, Woodhead publishing limited, Abington, Cambridge CB21 6AH, England, 2007.

[10]. G. Woschni, *A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in Internal Combustion Engines*, SAE 6700931, 1967.

[11]. AVL-List GmbH, *BOOST v.2009 Users Guide & Theory*, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, Austria, 2009.

Ngày nhận bài: 10/5/2014

Ngày chấp nhận đăng: 29/5/2014

Người phản biện: PGS. TS. Lê Hoài Đức

PGS. TS. Khổng Vũ Quảng

ORIENTATION OF VIETNAM...

(Tiếp theo trang 12)

previous manufacturing process, manufacturing, services, distribution products; logistics costs account for a high proportion of production costs; GDP contribution of logistics in our country is low, while costs in GDP is relatively high. The orientation, strategic development planning properly for priority projects, appropriate steps will be taken specialized logistics service integration roadmap, to bring Vietnam into an industrialized country by 2020 and the years later.

Along with the appropriate policies and adequate investment from all economic sectors, certainly in the near future logistics services will have strong development, commensurate with potential of the country required to meet deeper integration into the world economy □

References

- [1]. Ly Huy Tuan, Duong Van Chung (2013), *Vietnam Logistics Development Orientation to 2050, Strategy to 2030 in the Context of Deeper International Economic Integration*, paper send to workshop in Taiwan, 2013.
- [2]. Ly Huy Tuan (ed., 2010), *Strategy, Master Plan and Policy on Vietnam Transport Development to the years 2020, 2030*, Transport Publishing House, Hanoi.
- [3]. Ministry of Industry and Trade (2013), *Master Plan on Development of logistics center systems and exhibition center in the whole country by 2020 and orientation to 2030*.
- [4]. The Ba Ria - Vung Tau People's Committee and the National Committee for International Economic Cooperation (2011), *Vietnam Logistics and Seaport Services, Summary Record at Forum in the Context of International Economics Integration*, Ba Ria - Vung Tau, Vietnam, March 30, 118pp.