STEADY AND TRANSIENT NUMERICAL INVESTIGATION OF AUTO-IGNITION CHARACTERISTICS OVER MICRO-STRUCTURED CATALYTIC HONEYCOMB REACTORS FOR CH4 AND CH4-H2 MIXTURES

By

Alaa Mohamed Ahmed Abdel Raziq Mohamed

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
In
MECHANICAL POWER ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
2017

STEADY AND TRANSIENT NUMERICAL INVESTIGATION OF AUTO-IGNITION CHARACTERISTICS OVER MICRO-STRUCTURED CATALYTIC HONEYCOMB REACTORS FOR CH4 AND CH4-H2 MIXTURES

By

Alaa Mohamed Abdel-Raziq Mohamed

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
In
MECHANICAL POWER ENGINEERING

Under the Supervision of

Prof.Dr. Mohamed Ali Hassan

Professor, Mechanical Power Engineering Department

Faculty of Engineering, Cairo University

Dr.Hatem Kayed Haridy

Lecturer, Mechanical Power Engineering Department

Faculty of Engineering, Cairo University

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
2017

STEADY AND TRANSIENT NUMERICAL INVESTIGATION OF AUTO-IGNITION CHARACTERISTICS OVER MICRO-STRUCTURED CATALYTIC HONEYCOMB REACTORS FOR CH4 AND CH4-H2 MIXTURES

By

Alaa Mohamed Abdel-Raziq Mohamed

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
In
MECHANICAL POWER ENGINEERING

Approved by the Examining Committee

Prof. Dr. Mohamed Ali Hassan **Thesis Main Advisor**

Professor, Mechanical power Engineering Department, Faculty of Engineering, Cairo University.

Prof. Dr. Abdel-Hafez Hassanin **Internal Examiner**

Professor, Mechanical power Engineering Department, Faculty of Engineering, Cairo University.

Prof. Dr. Mahmoud El-Kady **External Examiner**

Professor, Mechanical power Engineering Department, Faculty of Engineering, Al-Azhar University.

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY

GIZA, EGYPT

2017

Engineer's Name: Alaa Mohamed Abdel-Raziq Mohamed
Date of Birth: 9 / 26 / 1992
Nationality: Egyptian
E-mail: Alaamohamed2014@hotmail.com
Phone: 01142444904
Address: 21 Gesr Daood, As-Saff, Giza

Registration Date: 1 / 10 / 2014
Awarding Date: …./…./2017
Degree: Master of Science
Department: Mechanical Power Engineering

Supervisors:

Prof. Dr. Mohamed Ali Hassan
Dr. Hatem Omar Haridy

Examiners:

Prof. Dr. Mohamed Ali Hassan (Thesis main advisor)
Prof. Dr. Abdel-Hafez Hassanin (Internal examiner)
Prof. Dr. Mahmoud El-Kady (External examiner)
Professor, Mechanical power Engineering Department,
Faculty of Engineering, Al-Azhar University.

Title of Thesis:

STEADY AND TRANSIENT NUMERICAL INVESTIGATION OF AUTO-IGNITION CHARACTERISTICS OVER MICRO-STRUCTURED CATALYTIC HONEYCOMB REACTORS FOR CH4 AND CH4-H2 MIXTURES

Key Words:
Combustion; Auto-Ignition; Catalyst; Transient; Methane

Summary:

In this study, stable range of self-ignition for the micro-combustion of CH4 and CH4-H2 mixtures have been investigated over platinum-coated micro catalytic honeycomb reactor by CFD technique using CHEMKIN and ANSYS17.2 Packages. A certain amount of heat is furnished from outside at constant temperature with an external electric furnace to investigate localized self-ignition temperature. This investigation studies the effect of flow rate and mixture strength. Noting that, Ignition of mixtures occurs at same temperature for different mass flow rates of CH_4-Air mixtures, while it is decreased for increased flow rates of CH_4-H_2-Air mixtures. Equivalence ratio for CH_4 mixtures is found to be within different range from traditional self-ignition combustion.

مهندس: علاء محمد عبد الرازق محمد
تاريخ الميلاد: 9 \ 26 \ 1992
الجنسية: مصري
تاريخ التسجيل: 1 \ 10 \ 2014
تاريخ المنح: ....\....\2017
القسم: هندسة القوى الميكانيكية
الدرجة: ماجستير العلوم
المشرفون:
ا.د. محمد على حسن
د. حاتم عمر هريدى

الممتحنون:
أ.د. محمد على حسن المشرف الرئيسي
أ.د. عبد الحافظ حسانين الممتحن الداخلي
أ.د. محمود القاضى الممتحن الخارجي
(استاذ بقسم هندسة القوي الميكانيكية – كلية الهندسة ، جامعة الأزهر)

عنوان الرسالة:
دراسة عددية ثابتة ولحظية لخصائص الإشعال الذاتى فوق مفاعلات حفازة ميكروهيكلية شكل خلية النحل لغاز الميثان وخليط من غازى الميثان – الهيدروجين

الكلمات الدالة:
الإحتراق ، الإشعال الذاتى ، أسطح حفازة ، لحظى ، الميثان

ملخص الرسالة:
فى هذه الدراسة، يتم تناول مدى استقرار درجة حرارة الاشعال الذاتى للإحتراق على المستوى المتناهى الصغر لغاز الميثان وخليط من غازى الميثان والهيدروجين داخل مفاعلات حفازة ميكروهيكلية شكل خلية النحل مغطاة بالبلاتينيوم بواسطة تقنية الدراسة العددية لديناميكا الموائع من خلال برنامجى CHEMKIN و ANSYS17.2. يتم تزويد كمية معينة من الحرارة من الخارج عند درجة حرارة ثابتة بإستخدام فرن كهربائى خارجى لدراسة درجة حرارة الإشتعال الذاتى المحلية. تبحث هذه الدراسة عن أثر معدل التدفق ونسب ومكونات الغاز. يلاحظ أن، الإشتعال يحدث عند نفس درجة الحرارة لمختلف معدلات تدفق غاز الميثان بينما تقل مع زيادة معدل تدفق غازى الميثان والهيدروجين. وجدت نسبة التكافؤ لغاز الميثان فى مدى مختلف عن النسبة المعتادة للإشعال الذاتى فى الإحتراق التقليدى.

دراسة عددية ثابتة ولحظية لخصائص الإشعال الذاتى فوق مفاعلات حفازة ميكروهيكلية شكل خلية النحل لغاز الميثان وخليط من غازى الميثان – الهيدروجين

اعداد

مهندس/ **علاء محمد عبد الرازق محمد**

رسالة مقدمة إلى كليةالهندسة – جامعة القاهرة

كجزء من متطلبات الحصول على درجة **ماجستير العلوم**

في

هندسة القوي الميكانيكية

يعتمد من لجنة الممتحنين:

الأستاذ الدكتور/ محمد على حسن

استاذ بقسم هندسة القوي الميكانيكية – كلية الهندسة ، جامعة القاهرة **المشرف الرئيسي**

الأستاذ الدكتور/ عبد الحافظ حسانين

استاذ بقسم هندسة القوي الميكانيكية – كلية الهندسة ، جامعة القاهرة **ممتحن داخلي**

الأستاذ الدكتور/ محمود القاضى

استاذ بقسم هندسة القوي الميكانيكية – كلية الهندسة ، جامعة الازهر **ممتحن خارجي**

كليــة الهندســة - جامعــة القاهــرة

الجيـزة - جمهوريـة مصـرالعربيــة

2017

دراسة عددية ثابتة ولحظية لخصائص الإشعال الذاتى فوق مفاعلات حفازة ميكروهيكلية شكل خلية النحل لغاز الميثان وخليط من غازى الميثان – الهيدروجين

اعداد

مهندس/ **علاء محمد عبد الرازق محمد**

رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة - جامعة القاهرة

كجزء من متطلبات الحصول على درجة **ماجستير العلوم**

في

هندسة القوي الميكانيكية

تحت اشراف

الأستاذ الدكتور / محمد على حسن

أستاذ ، قسم هندسة القوي الميكانيكية

كلية الهندسة ، جامعة القاهرة

الدكتور / حاتم عمر هريدى

مدرس ، قسم هندسة القوي الميكانيكية

كلية الهندسة ، جامعة القاهرة

كليــة الهندســة - جامعــة القاهـرة

الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة

2017

دراسة عددية ثابتة ولحظية لخصائص الإشعال الذاتى فوق مفاعلات حفازة ميكروهيكلية شكل خلية النحل لغاز الميثان وخليط من غازى الميثان – الهيدروجين

اعداد

مهندس/ **علاء محمد عبد الرازق محمد**

رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة – جامعة القاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة **ماجستيرالعلوم**
في
هندسة القوي الميكانيكية

كليــة الهندســة - جامعــة القاهــرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة
2017

Acknowledgment

I would like to express my deep gratitude to my supervisors, Prof. Dr. Mohamed Ali Hassan and Dr. Hatem Kayed, for their guidance and continuous help in my work. I would like to thank them for their valuable advices in the different contexts of this thesis.

Special thanks also go to all Professors of the department for their continuous help and sharing their experience in the relevant work. Moreover, I wish to thank my friends for their friendship, support and for creating an enjoyable working atmosphere throughout my working period.

Finally, I would like to express my gratefulness to my family for their continuous care, patience, tolerance, encouragement, and support. In a general way, I would like to express my gratefulness to everyone who helped me in accomplishing this work.

Table of contents

List of Tables

List of Figures

List of Symbols

1	K	Thermal conductivity, w/m.k
2	A_{int}	Active internal surface area per unit length, cm^2/cm
3	A_{ext}	External heat transfer area per unit length, cm^2/cm
4	A_{flow}	Cross sectional flow area, cm2
5	h	heat transfer coefficient, $w/m^2.k$
6	μ	Viscosity, kg/m.s
7	ε	Emissivity,
8	cp	Specific heat of fluid, J/kg.K
9	g_i	The component of the gravitational vector in the i^{th} direction, m/s^2
10	$\dot{q}$	Wall heat flux, W/m^2
11	Su	The source term
12	Sφ	The source term
13	Ti	Inlet temperature, ºC
14	Tp	Temperature at the cell adjacent to wall, ºC
15	Tw	Temperature at the wall, ºC
16	$\vec{u}$	The flow velocity vector, m/s
17	$\overline{u_i}$	The mean velocity component, m/s
18	u_j	Mean velocity component, m/s
19	U_p	Mean velocity of the fluid at point P , m/s
20	t_w	Cell Wall Thickness ,mm
21	D_r	Diameter of reactor ,cm
22	L_r	Length of reactor ,cm
23	D_{cell}	Cell Size/diameter ,cm