دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی عددی گذر احتراق به انفجار در لوله انفجاری به همراه موانع

نگارش: نجمه صالحی

استاد راهنما:دکتر شعبان علیاری
استاد مشاور:دکتر ناصر شایگان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

شهریور 1391

بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **نجمه صالحی** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است،مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است.این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است.در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می باشد

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

تهران- لویزان – کد پستی 16788 – صندوق پستی 163-16785 – تلفن 9 – 22970060(داخلی 2347) – نمابر 22970011 –
پست الکترونیکی: sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی عددی گذر احتراق به انفجار در لوله انفجاری به همراه موانع

نگارش: نجمه صالحی

استاد راهنما:دکتر شعبان علیاری
استاد مشاور:دکتر ناصر شایگان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

شهریور 1391

تقدیم به:

یگانه فرزند دلبندم

هلیای عزیزم

قدر دانی و تشکر

با سپاس فراوان از محضر استاد ارجمند جناب آقای دکتر علیاری ، به پاس رهنمودهای گرانبهایشان

و با قدردانی از زحمات تمام کسانی که در این مسیر مرا صبورانه یاری نمودند.

نجمه صالحی
شهریور 1391

چکیده پایان نامه

پدیده گذر احتراق به انفجار DDT به منظور افزایش ایمنی تاسیسات و نیـز کاربردهـای جدیـد آن مانند موتورهای پالسی انفجاری همواره مورد توجه بوده است .

یکی از عوامل کاهش طول پیش از انفجار به کار بردن صفحات ارفیس در بخش ابتدایی لوله است.

در این پایان نامه اثر صفحات ارفیس بر طول پیش از انفجار به صورت عددی بررسی شده است.اثـر نسبت انسداد (که به صورت نسبت مساحت سطح محدود شده به مساحت سـطح مقطـع لولـه تعریـف می شود) و فاصله بین صفحات ارفیس بر طول پیش از انفجار بررسی شده است.

معادلات حاکم بر جریان محترق آشفته در مختصات دو بعدی (با تقارن محوری) برای لوله ای بـه طول 3m و قطر داخلی 10cm حل شده است . دمای اولیه 300K و فشار اولیه 1bar می باشد.

مخلوط مورد آزمایش متان، اکسیژن و نیتروژن (با ترکیب 25 درصد متان، 50 درصد اکسیژن و 25 درصد نیتروژن) است. نسبت انسداد صفحات ارفیس 40%، 60% و 70% با فاصله‌ی بین صفحات اورفیس 2cm، 4cm و 6cm و8cm در نظر گرفته شده است. برای تحلیل واکنش های شیمیایی از مکانیزمی با 21گونه و 84 واکنش رفت وبرگشتی استفاده شده است.

نتایج نشان می دهد :

1- تعداد صفحات ارفیس بیشتر در واحد طول باعث افزایش میزان آشفتگی شده و سطح شعله سریع تر رشد کرده و بنابر این سرعت شعله سریعتر افزایش می یابد
2- اگر فاصله ی بین صفحات ارفیس به اندازه ی کافی زیاد باشد،دیواره ی ماخ به آسانی تشکیل شده و DDT راحت تر اتفاق می افتد
3- وجود صفحات ارفیس با نسبت انسداد کوچک یا متوسط باعث افزایش آشفتگی شده و طول پیش از انفجار را کاهش می دهد
4- صفحات ارفیس با نسبت انسداد بالا مانع از شتاب گیری مناسب شعله شده و طول پیش از انفجار را افزایش می دهند.

واژه های کلیدی:گذر از احتراق به انفجار – لوله ی انفجاری – محتراق آشفته – صفحات ارفیس

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل 1 : طرح مسئله ی تحقیق 1

1-1. مقدمه 2

2-1. بیان مسئله تحقیق 3

3-1. اهداف تحقیق 3

4-1. سوالات با فرضیه های تخصصی 3

5-1. ضرورت و اهمیت تحقیق 4

فصل 2 : شناسایی فرایند گذر از احتراق به انفجار و تاریخچه ی آن 5

1-2.مقدمه 6

2-2.شناسایی پدیده DDT 7

1-2-2. مطالعات بنیادی در زمینه گذر از احتراق به انفجار **(DDT)** 7

2-2-2. عوامل تاثیر گذار بر پدیده گذر احتراق آشفته به انفجار 12

3-2-2. مراحل پدیده ی گذر احتراق به انفجار 16

3-2. شتاب گیری شعله در لوله های صاف 18

1-3-2. فرایند شتاب گیری شعله در لوله های صاف 18

2-3-2. طول پیش از انفجار 23

4-2.شتاب گیری شعله در لوله های با مانع 24

1-4-2. فرایند شتاب گیری شعله در لوله های با مانع 24

2-4-2. مشخصات رژیم های پخش شعله 28

5-2. آغاز انفجار 32

1-5-2. روش های مختلف آغاز پدیده ی انفجار 32

2-5-2. معیار آغاز انفجار در لوله های صاف 34

3-5-2. معیار آغاز انفجار در کانامهای با مانع 36

6-2. شرایط لازم برای وقوع DDT 39

فصل 3 : مدل سازی مسئله 41

1-3. مقدمه 42

2-3. مدل کردن مسئله 43

1-2-3. معرفی نرم افزار گمبیت 43

فهرست مطالب

عنوان — **صفحه**

2-2-3. معرفی نرم افزار فلوئنت 45
1-2-2-3. تنظیم پارامترهای لازم در فلوئنت 50
1. حل کننده یک دقته و حل کننده دو دقته 50
2. خواندن فایل های مش 51
3. بررسی شبکه و نمایش آن 52
4. حل کننده و فرمول بندی 53
5. فعال کردن معادله انرژی 55
6. تعیین آرام با مغشوش یا غیر لزج بودن 55
7. وارد کردن مکانیزم حل مساله 57
8. تعیین رابطه بین آشفتگی و واکنش های شیمیایی 57
9. تعیین خواص فیزیکی مواد 58
10. تعیین شرایط عملکردی 59
11. تعیین شرایط مرزی 60
2-2-2-3. تحلیل و حل مسئله 61
3-2-2-3. مقدار دهی اولیه به حل 62
1. مقداردهی اولیه در کل میدان جریان 62
2. مقداردهی وصله ای در سلول های انتخاب شده 63
4-2-2-3. ذخیره سازی نتایج 67
5-2-2-3. تعیین پارامترهای وابسته به زمان و شروع محاسبات 68
فصل 4 : معادلات حاکم 70
1-4. مقدمه 71
2-4. معادلات حاکم بر جریان 72
1-2-4. معادلات دیفرانسیل حاکم 72
1. معادله ی پیوستگی 73
2. معادله ی بقای اندازه حرکت 73
3. معادله ی بقای انرژی 73
4. معادله حالت 73
5. معادله ی بقای گونه ها 73
6. معادلات اغتشاش 77

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

3-4. الگوریتم روش عددی 83
4-4. شرایط مرزی ، شرایط اولیه و بررسی صحت نتایج 85
فصل 5 : بهینه سازی و نتایج حاصل از آن 88
1-5. مقدمه 89
2-5. مشخصات فیزیکی لوله ی مدل شده 90
3-5. مکانیزم گسترش شعله وDDT 91
منابع 108

فهرست جدول ها

عنوان — **صفحه**

جدول 2-1: نحوه ی ارتباط بین اندازه ی هندسه مشخصه ی L، با اندازه ی سلول انفجاری λ — 38

جدول 3-1: مکانیزم مربوط به احتراق متان- اکسیژن- نیتروژن — 47

جدول 4-1: ثابت های موجود در مدل k-ϵ استاندارد — 81

جدول 4-2: ثابت های موجود در مدلRNG — 81

فهرست شکل ها

عنوان — **صفحه**

شکل 2-1 : نمونه ای از مارپیچ شلکین 8

شکل2-2: تصویری از فرایند انفجار در انفجار (explosion in the explosion) در مخلوط هیدروژن – اکسیژن که با استفاده از روش عکسبرداری شیلرین گرفته شده است 9

شکل2-3: تصویری از فرایند انفجار در انفجار در مخلوط هیدروژن – اکسیژن که با استفاده از روش عکسبرداری شلیرن گرفته شده است فصله ی زمانی بین قاب ها5μs و فاصله ی بین علائم نشان داده شده در پایین ترین شکل 5 cm می باشد 10

شکل2-4: اثر نوع سوخت بر زمان وقوع DDT در شرایط یکسان 12

شکل2-5: اثر نسبت هم ارزی بر زمان وقوع DDT 13

شکل2-6:تاثیر قطر لوله و در صد سوخت موجود در هوا بر طول پیش از انفجار 14

شکل2-7: زمان وقوع DDT در مخلوط هیدروژن-اکسیژن در فشار اولیه 100 کیلو پاسکال 15

شکل2-8: زمان وقوع DDT در مخلوط هیدروژن-اکسیژن در فشار اولیه 62/5 کیلو پاسکال 15

شکل2-9: شماتیکی از فرآیند پیچیده DDT 16

شکل2-10: مراحلی از ایجاد فرایند DDT 17

شکل2-11: تصویری از مراحل سوختن،گذر به انفجار و انتشار موج انفجار 17

شکل2-12: عکس های شلرین از مراحل اولیه ی پخش شعله در ترکیبات مختلف از-H2 air 19

شکل2-13: عکسبرداری سریع از پدیده DDT ،دزصد انسداد 84% و هیدروژن 35% 20

شکل2-14: شماتیک گسترش لایه ی مرزی در جلوی یک شعله ی شتاب دار. منحنی های V(x) نشان دهنده ی توزیع سرعت جریان در جلوی شعله می باشند; SW نشان دهنده ی موج ضربه ای می باشد;b.1 لایه ی مرزی می باشد; Δ نشان دهنده ی ضخامت لایه ی مرزی در محل شعله می باشد; قسمت d نشان دهنده ی جبهه ی شعله و لایه ی مرزی در سه لحظه ی متفاوت می باشد; منحنی Δ(x) نشان دهنده ی ضخامت لایه ی مرزی در جلوی شعله به عنوات تابعی از مکان می باشد. 21

شکل2-15: عکس های پیاپی(فاصله ی زمانی بین عکس ها 0.1 ms می باشد)که نشان دهنده ی نحوه ی رشد لایه ی مرزی در جلوی یک شعله ی شتابدار می باشد.شعله از چپ به راست در حرکت می باشد.سرعت در نوک شعله320 m/s می باشد.لایه های مرزی در دیواره ی بالایی با رنگ تیره و در دیواره ی پایینی با رنگ روشن نشان داده شده است.زبری دیواره 0.1mm می باشد.مخلوط مورد آزمایش،مخلوط استوکیومتری $H_2 - O_2$ با فشار اولیه 22

ی 0.6 بار می باشد

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل2-16: فرایند پخش شعله در داخل یک لوله ی با مانع با استفاده از عکسبرداری شلرین ،درصد انسداد 50% ، حد فاصل بین موانع 2تا 7 ،فاصله زمانی بین عکس ها 0.1 ms می باشد 25

شکل2-17: فرایند پخش شعله در داخل یک لوله ی با مانع با استفاده از عکسبرداری شلرین ،درصد انسداد 67% ، حد فاصل بین موانع 2 تا 7 ،فاصله زمانی بین عکس ها ms 0.67 می باشد 26

شکل2-18: درصد انسداد 50 ، ابعاد داخلی کانال $7.6\ cm \times 44.5\ cm$ 27

شکل2-19: نحوه ی وقوع احتراق آرام در ترکیب $\%10H_2 - air$ در یک کانال با BR=%60 شعله در ابتدا با سرعتی در حدود 100m/s از قسمت میانی لوله حرکت کرده و بخشی از مواد را به صورت سوخته نشده ترک می کند،سپس شعله برگشته و مواد نسوخته را هم می سوزاند 29

شکل2-20: نحوه ی وقوع احتراق آشفته در ترکیب $\%70H_2 - air$ در یک کانال با BR=%60 30

شکل2-21: آغاز انفجار به واسطه ی انعکاس ماخ از دیواره ی بالایی،موج ضربه مربوط به یک شعله ی آشفته بوده که جلوتر از جبهه ی موج در حرکت بوده است.انعکاس از دیواره ی بالایی زمانی اتفاق افتاده که موج ضربه از مانع گذشته و وارد یک حجم بزرگتر شده است 33

شکل2-22: آغاز انفجار به واسطه ی برهم کنش بین امواج فشاری و جبهه ی شعله در نزدیکی لایه ی مرزی،نقطه ی آغاز موج انفجاری در عکس دوم در فاصله ی کمی از دیواره ی پایینی و در مرکز موج بیضیوار نشان داده شده می باشد 34

شکل2-23: نتایج آزمایش هایی که در جدول2 -1 ارائه شده است 37

شکل3-1 : نمونه ای از شبکه تولید شده در نرم افزار Gambit 44

شکل3-2: تعیین شرایط مرزی باید در نرم افزار Gambit 45

شکل3-3: وارد کردن هندسه وشبکه تولید شده در نرم افزار Gambit به نرم افزار Fluent 51

شکل3-4: اطلاعاتی در مورد وسعت دامنه حل، مقدار حل و غیره در پنجره کنسول 52

شکل3-5: پانل Solver 54

شکل3-6: پانل Energy 55

شکل3-7: پانل Viscous Model 56

شکل3-8: پانل CHEMKIN Mechanism Import 57

فهرست شکل ها

عنوان — **صفحه**

شکل3-9: پانل Species Model 58

شکل3-10: پانل Material 59

شکل3-11: پانل Operating Condition 60

شکل3-12: پانل Boundary Conditions 60

شکل3-13: پانل Solution Controls 61

شکل3-14: پانل Solution Initialization 63

شکل3-15: پانل Region Adoption 64

شکل3-16: پانل Manage Region Adoption 64

شکل3-17: پنجره نمایش گرافیکی. 65

شکل3-18: پانل Patch 66

شکل3-19: پانل Auto save Case/Data در حالت دائم. 67

شکل3-20: پانل Iterate 68

شکل3-21: پانل کنسول و پنجره گرافیکی در حال محاسبات. 69

شکل4-1: حجم کنترل برای وضعیت دو بعدی 83

شکل4-2: خطوط همدما در مدل ساخته شده پیش از آغاز حل 85

شکل4-3: مقایسه ی نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی 86

شکل 4-4: توزیع دما در لوله در چهار زمان مختلف پس از آغاز جرقه 87

شکل 4-5: توزیع فشار در بخشی از لوله در چهار زمان مختلف پس از آغاز جرقه 87

شکل 5-1: تصویری از یک مدل ساخته شده که در آن از 8 مانع استفاده شده است. دیواره و موانع آدیاباتیک فرض شده و شرط عدم لغزش در دیواره ها حاکم است. 90

شکل 5-2: توزیع دما در داخل لوله در زمانهای مختلف پس از آغاز جرقه.زمان ها در شکل نشان داده شده است. BR =%40 و S=2 cm .قاب های نشان داده شده در شکل، نیمه ی بالایی لوله ی مدل شده را نشان می دهند 91

شکل 5-3: توزیع فشار در داخل لوله در زمانهای مختلف پس از آغاز جرقه.زمان ها در شکل نشان داده شده است. BR =%40 و S =2 cm.قاب های نشان داده شده در شکل، نیمه ی بالایی لوله ی مدل شده را نشان می دهند 92

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل 5-4: توزیع سرعت در داخل لوله در زمانهای مختلف پس از آغاز جرقه،زمان ها در شکل نشان داده شده است. BR =%40 و S=2 cm .قاب های نشان داده شده در شکل، نیمه ی بالایی لوله ی مدل شده را نشان می دهند 92

شکل 5-5: شکلی از اثرات درصد انسداد بر روی کل سطح شعله 94

شکل 5-6: نمودار سرعت جبهه شعله برای مخلوط متان،اکسیژن ونیتروژن،BR =%40 و S=2cm 95

شکل 5-7: نمودار سرعت جبهه شعله برای مخلوط متان،اکسیژن ونیتروژن،BR =%60 و S=2cm 96

شکل 5-8: نمودار سرعت جبهه شعله برای مخلوط متان،اکسیژن ونیتروژن،BR =%70 و S=2cm. 97

شکل 5-9: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای فاصله ی بین موانع متفاوت در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن درBR=%40 99

شکل 5-10: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای فاصله ی بین موانع متفاوت در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن درBR=%60 100

شکل 5-11: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای فاصله ی بین موانع متفاوت در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن درBR=%70 100

شکل 5-12: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای فاصله ی بین موانع متفاوت در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن در BR=%40 تاBR=%70 101

شکل 5-13: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای نسبت انسدادهای متفاوت (فاصله ی بین موانع ثابت). در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن در و S=2 cm 104

شکل 5-14: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای نسبت انسدادهای متفاوت (فاصله ی بین موانع ثابت). در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن در و S=4 cm 104

شکل 5-15: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای نسبت انسدادهای متفاوت (فاصله ی بین موانع ثابت). در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن در و S=6 cm 105

شکل 5-16: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای نسبت انسدادهای متفاوت (فاصله ی بین موانع ثابت). در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن در و S=7 105

شکل 5-17: طول پیش از انفجار محاسبه شده برای نسبت انسدادهای متفاوت (فاصله ی بین موانع ثابت). در مخلوط متان،اکسیژن و نیتروژن در و S=2 cm تا و S=7 cm. 106

فهرست علائم و اختصارات

Deflagration to Detonation Transition	DDT
Landau–Darrieus instability	L-D
سرعت محوری	V(x)
طول پیش از انفجار	
فشار	P
قطر لوله	D
Richtmyer-Meshkov	R-M
Kelvin-Helmholtz	K-H
Chapman-Jouget	CJ
قطر روزنه ی تعبیه شده در مرکز مانع	d
اندازه ی سلول انفجاری	λ
بزرگترین عرض کانال	
فاصله ی بین موانع در کانال	
فاصله ی بین موانع در کانال مدور	S
نسبت انسداد	BR
اندازه ی مشخصه ی یک کانال	L
شتاب گیری شعله	FA
تعداد گونه های شیمیایی موجود در مخلوط	N
معادلات دیفرانسیل معمولی	ODE
مقادیر ویژه ی ژاکوبین	
سختی سیستم	
ضریب ثابت(بر حسب واحدهای سازگار)	A
انرژی اکتیواسیون(بر حسب J/kgmol-K)	E
دما	T(K)
ثابت جهانی گازها(بر حسب J/kgmol-K)	R
چگالی	ρ
زمان	t
متوسط زمانی برای سرعت در راستای x_i	u_j

تانسور تنش	τ_{ij}
نیروهای حجمی در راستای x_i	B_i
آنتالپی	h
ظرفیت گرمایی ویژه ی مخلوط	
شار حرارتی ناشی از تشعشع گرمایی	
کسر جرمی گونه ی i	
نرخ کلی تولید گونه ی i به وسیله ی واکنش شیمیایی	
نرخ تولید گونه یi به وسیله ی عوامل مختلف دیگر	
ضریب پخش جرم گونه ی i موجود در مخلوط	
عدد اشمیت آشفته	
ضریب موثر پخش جرم آشفته	
ویسکوزیته ی آشفته	μ_t
جرم مولکولی گونه ی i	
نرخ مولی تولید یا واپاشی گونه ی i در واکنش r	$\hat{R}_{i,r}$
تعداد واکنش ها	N_R
ضریب استوکیومتری واکنش دهنده ی i در واکنش r	$v'_{i,r}$
ضریب استوکیومتری محصول i در واکنش r	$v''_{i,r}$
نماد نشان دهنده ی گونه ی i	
ثابت سرعت واکنش رفت برای واکنش r	
ثابت سرعت واکنش برگشت برای واکنش r	
تعداد گونه های شیمیایی موجود در واکنش r	
غلظت مولی هریک از واکنش دهنده ها و محصولات در واکنش r	
توان سرعت هر یک از واکنش دهنده ها و محصولات در واکنش r در واکنش رفت	$\eta'_{j,r}$
توان سرعت هر یک از واکنش دهنده ها و محصولات در واکنش r در واکنش برگشت	$\eta''_{j,r}$
تاثیرات third bodies بر روی نرخ واکنش	Γ
تاثیرات third bodies گونه ی j در واکنش r	$\gamma_{j,r}$
ثابت تعادل در واکنش r	K_r
آنتالپی حالت استاندارد	h_i^0
آنتروپی حالت استاندارد	s_i^0
تولید انرژی جنبشی آشفتگی به دلیل گرادیان سرعت متوسط	G_K
تولید انرژی جنبشی آشفتگی به دلیل نیروی شناوری	G_B
اتلاف اتساعی	Y_M

عدد ماخ آشفته	M_t
عدد پراندتل آشفتگی برای k	σ_k
عدد پراندتل آشفتگی برای ε	σ_ε
معکوس عدد پراندتل موثر برای k	α_k
معکوس عدد پراندتل موثر برای ε	α_ε
عبارت چشمه برای k	S_k
عبارت چشمه برای ε	S_ε
ویسکوزیته ی موثر آشفتگی	μ_{eff}
فشار مطلق	P_{op}
ظرفیت گرمایی ویژه ی مخلوط	$C_{p,i}$
اندازه ی حجم کنترل در راستای x	Δx
اندازه ی حجم کنترل در راستایy	Δy
فاصه ی مرکز حجم کنترل با مرکز حجم کنترل شرقی	$(\delta x)_e$
فاصه ی مرکز حجم کنترل با مرکز حجم کنترل غربی	$(\delta x)_w$
فاصه ی مرکز حجم کنترل با مرکز حجم کنترل شمالی	$(\delta x)_n$
فاصه ی مرکز حجم کنترل با مرکز حجم کنترل جنوبی	$(\delta x)_s$
فاصله ی بین موانع	S

فصل1 :طرح مسأله ی تحقیق

1-1. مقدمه

در این فصل به ارائه ی یک نمای کلی از تحقیق صورت گرفته می پردازیم.امروزه تحقیقات فراوانی در زمینه ی DDT[1] در حال انجام است و علت این امر آن است که استفاده از موج های انفجاری،خصوصا استفاده از موج انفجار ناشی از پدیده ی گذر از احتراق به انفجار (DDT) کاربردهای فراوانی یافته است.

مسئله ی اساسی در این تحقیق بررسی پدیده ی گذر از احتراق به انفجار در داخل یک لوله وبررسی هندسه و ترکیب مناسب صفحات ارفیس برای کاهش طول پیش از انفجار می باشد.

در این تحقیق سعی بر این است با بررسی اثر نسبت انسداد صفحات ارفیس وفاصله بین این صفحات بر طول پیش از انفجار ، به این پرسش پاسخ داد که آیا نسبت انسداد و فاصله بین صفحات ارفیس خاص برای به حداقل رساندن طول پیش از انفجار می توان یافت ؟

[1]- Deflagration To Detonation Transition