بسم الله الرحمن الرحيم

باسمه تعالی

تعهد نامه اصالت اثر

مدیریت تحصیلات تکمیلی

اینجانب امین الله ویسی 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 ۱۶۷۸۸ – صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۵ – تلفن ۹ – ۲۲۹۷۰۰۶۰(داخلی ۲۳۴۷) – نمابر۲۲۹۷۰۰۱۱ – پست الکترونیکی: sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی اثر مدل سازی جرقه، مکانیزم احتراق و تخفیف ارتعاشی در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار

نگارش:

امین الله ویسی

استاد راهنما:دکتر شعبان علیاری شوره دلی

استاد مشاور:دکتر ناصر شایگان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک–تبدیل انرژی

اسفند ۱۳۹۰

تاییدیه هیات داوران

تقدیم به:

مادرم

و

همسرم

قدر دانی و تشکر

خدای عزیزم را شاکرم که مرا یاری داد تا علی رغم درد و رنج بسیار،این کار را به اتمام رسانده و قدمی هرچند بسیار کوچک در راه پیشرفت و اعتلای علمی کشور عزیزم ایران بردارم.

در این راه کسان بسیاری یار و یاور و همپای من بودند و هریک به نحوی مرا در انجام این تکلیف یاری کرده اند که ذکر اسامی تمامی آنها ممکن نیست.

اما در این جا لازم می دانم قبل از همه کس از استاد راهنمای عزیز و گرانقدرم جناب آقای **دکتر شعبان علیاری شوره دلی** که بسیار دلسوزانه و با مهربانی در قدم به قدم انجام این پایان نامه مرا راهنمایی می کردند از صمیم قلب تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از **همسر مهربانم** که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه یار و یاور من بودند قداردانی و تشکر می کنم.

امین الله ویسی

۹۰/۱۱/۲۴

چکیده پایان نامه

در این پایان نامه فرایند گذر از احتراق آشفته به انفجار DDT[1] در داخل یک لوله با استفاده از روشهای عددی شبیه سازی شده است.
در این تحقیق اثر مدل سازی جرقه، مکانیزم احتراق و اثر ترم تخفیف ارتعاشی[2] در محاسبات طول پیش از انفجار برای دو نوع مدل سازی جرقه مورد مقایسه قرار گرفته است. در مدل اول در ناحیه مشخص مخلوط گرم می گردد تا فرایند سوختن مخلوط آغاز گردد. در مدل دوم دمای اولیه مخلوط در ناحیه مشخص چنان در نظر گرفته می شود که برای آغاز احتراق کافی باشد. جهت بررسی اثر مکانیزم بکار رفته در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار دو نوع مکانیزم مختصر(شامل هفت جزء و هفت واکنش دو طرفه) و مفصل (شامل دوازده جزء و سی و پنج واکنش دو طرفه) با هم مقایسه شده اند. برای بررسی اثر ترم تخفیف ارتعاشی بر محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار اثر این ترم بر زمان انگیزش[3] مورد مطالعه قرار گرفته است.
ترکیب مورد استفاده مخلوط استوکیومتری هیدروژن - هوا می باشد. نتایج ناشی از دو نوع مدلسازی نشان می دهند که طول پیش از انفجار محاسبه شده به وسیله هر دو مدل جرقه تقریبا یکسان است.
نتایج مقایسه اثر دو نوع مکانیزم بکار رفته نشان می دهد که طول پیش از انفجار حاصل از کاربرد مکانیزم مفصل به نتایج تجربی نزدیک تر است. نتایج بررسی اثر ترم تخفیف ارتعاشی بر زمان انگیزش نشان می دهد که زمان انگیزش حالت تعادلی در تمامی نسبت های هم ارزی بیشتر از حالت غیر تعادلی است و افزایش دما در هر دو حالت تعادلی و غیر تعادلی باعث کاهش زمان انگیزش می شود.

واژه های کلیدی:گذر احتراق به انفجار – تخفیف ارتعاشی- زمان انگیزش

1-Deflagration to Detonation Transition
2 - Vibrational relaxation
3 - Induction time

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱:طرح مسئله ی تحقیق ۱
۱-۱.مقدمه ۲
۱-۲.بیان مسئله تحقیق ۳
۱-۳. اهداف تحقیق ۳
۱-۴. سوالات یا فرضیه های تخصصی ۳
۱-۵ ضرورت و اهمیت تحقیق ۴
۱-۶. پیشینه تحقیق ۴
۱-۷ کاربرد نتایج تحقیق ۵
فصل دوم : شناسایی پدیده DDT و معرفی تاریخچه آن ۶
۲-۱ مقدمه ۷
۲-۲ شناسایی پدیده گذر احتراق به انفجار و عوامل تاثیر گذار بر آن ۸
۲-۲-۱ پدیده گذر احتراق آشفته به انفجار چیست ۸
۲-۲-۲ پدیده گذر احتراق آشفته به انفجار چیست ۱۱
۲-۲-۳ تحقیقات انجام شده در زمینه گذر احتراق به انفجار ۱۵
۲-۲-۴ مراحل پدیده گذر احتراق به انفجار ۱۶
۲-۳ شتاب گیری شعله در لوله های صاف ۱۷
۲-۳-۱ فرایند شتاب گیری شعله در لوله های صاف ۱۷
۲-۳-۲ طول پیش از انفجار ۲۱
۲-۴ آغاز انفجار ۲۲
فصل سوم: معادلات حاکم و حل عددی آنها ۲۵
۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ مدل ریاضی ۲۶
۳-۳ مدل های گاز ۳۰
۳-۳-۱ مدل شیمیایی ۳۰
۳-۳-۱-۱ نرخ واکنش ها و ارتباط فانکشنال آنها ۳۰
۳-۳-۱-۲ قانون کنش جرم ۳۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۳-۱-۳ نرخ واکنش ۳۲
۳-۳-۱-۴ واکنش های دو طرفه ۳۲
۳-۳-۱-۵ محاسبه ثابت تعادل ۳۳
۳-۳-۲ مدل ترمودینامیکی ۳۴
۳-۳-۳ معادله حالت ۳۵
۳-۳-۴ مدل ساده شده ارتعاشی ۳۶
۳-۴ حل عددی معادلات حاکم ۳۷
۳-۴-۱ مقدمه ۳۷
۳-۴-۲ حل عددی بخش جابجایی معادلات حاکم ۳۸
۳-۴-۳ محاسبه بردارهای ویژه : ۴۳
۳-۴-۴ حل موج خطی شده ۵۰
۳-۴-۵ حل تقریبی مسئله ریمان ۵۵
فصل چهارم : نتایج ۶۲
۴-۱ مقدمه ۶۳
۴-۲ بررسی اثر مدل سازی جرقه ۶۴
۴-۳ بررسی اثر مکانیزم بر فرایند گذر احتراق به انفجار ۷۴
۴-۴ بررسی اثر ترم تخفیف ارتعاشی بر زمان انگیزش ۷۷
۴-۵ نتیجه گیری ۸۲
پیوست ۸۴
فهرست مقالات ارایه شده: ۸۶
منابع ۸۷

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱ : شماتیکی از فرایند پیچیده DDT. ۸

شکل ۲-۲ : مراحلی از ایجاد DDT ۹

شکل ۲-۳ : تصویری از مراحل سوختن، گذر به انفجار و انتشار موج انفجار ۱۰

شکل ۲-۴ : شماتیکی از عملکرد یک موتور انفجاری پالسی ۱۱

شکل ۲-۵ : اثر نوع سوخت بر زمان وقوع DDT در شرایط یکسان ۱۲

شکل ۲-۶ : اثر نسبت هم ارزی بر زمان وقوع DDT ۱۲

شکل ۲-۷ : تاثیر قطر لوله و درصد سوخت موجود در هوا بر طول پیش از انفجار ۱۳

شکل ۲-۸ : زمان وقوع DDT در مخلوط هیدروژن-اکسیژن در فشار اولیه ۱۰۰ کیلو پاسکال ۱۴

شکل ۲-۹ : زمان وقوع DDT در مخلوط هیدروژن- اکسیژن در فشار اولیه ۶۲/۵ کیلو پاسکال ۱۴

شکل ۲-۱۰: عکس های شلرین از مراحل اولیه ی پخش شعله در ترکیبات مختلف از هیدروژن - هوا ۱۷

شکل ۲-۱۱ : 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.l 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 $\Delta(x)$ نشان دهنده ی ضخامت لایه ی مرزی در جلوی شعله به عنوات تابعی از مکان می باشد. ۱۸

شکل ۲-۱۲ : عکس های پیاپی(فاصله ی زمانی بین عکس ها ۰/۱ms می باشد)که نشان دهنده ی نحوه ی رشد لایه ی مرزی در نوک یک شعله ی شتابدار می باشد.شعله از چپ به راست در حرکت می باشد.سرعت در نوک شعله ۳۲۰ 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 دیواره۰/۱mm می باشد.مخلوط مورد آزمایش، مخلوط استوکیومتری هیدروژن- اکسیژن با فشار اولیه ی۰/۶بار می باشد. ۲۰

شکل ۲-۱۳ : 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 ۲۳

شکل ۲-۱۴ :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. ۲۴

شکل ۳-۱ : ابعاد لوله و مختصات بکار رفته ۲۹

شکل ۳-۲ : نمودار انرژی بر حسب زمان ۳۷

فهرست شکل ها

عنوان

صفحه

شکل ۴-۱ :مقایسه طول پیش از انفجار برای نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و دمای اولیه 1250 K با نتایج مرجع [۳۳]. ۶۵

شکل ۴-۲ : توزیع دما در زمانهای مختلف برای نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ ۶۶

شکل۴-۳ توزیع دما در زمانهای مختلف برای دمای اولیه 1250 k ۶۷

شکل ۴-۴ : مقایسه موقعیت شعله به عنوان تابعی از زمان، برای دو نوع مدلسازی گرمایشی با نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و دمای اولیه 1250K ۶۸

شکل ۴-۵ : مقایسه سرعت شعله به عنوان تابعی از مکان، برای دو نوع مدلسازی گرمایشی با نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و دمای اولیه 1250K ۶۹

شکل ۴-۶ :. مقایسه موقعیت شعله به عنوان تابعی از زمان، برای گرمایش با نرخ های انرژی حالت های شروع جرقه با نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و $۹/۵۶ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و $۱۴/۳۴ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و $۱۹/۱۲ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ ۷۰

شکل ۴-۷ . مقایسه سرعت شعله به عنوان تابعی از مکان، برای گرمایش با نرخ های انرژی حالت شروع جرقه با نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و $۹/۵۶ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و $۱۴/۳۴ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ و $۱۹/۱۲ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ ۷۱

شکل ۴-۸ . مقایسه موقعیت شعله به عنوان تابعی از زمان، برای دماهای اولیه 1250 K و 1500 K و 1750 K و 2000 K ۷۲

شکل ۴-۹ . مقایسه سرعت شعله به عنوان تابعی از مکان، برای دماهای اولیه 1250K و 1500 K و 1750 K و 2000 K ۷۳

شکل ۴-۱۰ : مقایسه موقعیت شعله به عنوان تابعی از زمان، برای نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ در دو مخلوط استوکیومتریک هیدروژن – هوا جدول ۱ و ۲ پیوست ۷۵

شکل ۴-۱۱ :مقایسه موقعیت شعله به عنوان تابعی از زمان، برای دمای اولیه 1250 K در دو مخلوط استوکیمتریک هیدروژن – هوا جدول ۱ و۲ پیوست ۷۵

شکل ۴-۱۲ : .مقایسه سرعت شعله به عنوان تابعی از مکان، برای نرخ انرژی $۴/۷۸ \times ۱۰^{۹}\ w/m^3$ در دو مخلوط استوکیمتریک هیدروژن – هوا جدول ۱ و ۲ پیوست ۷۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۴-۱۳.مقایسه سرعت شعله به عنوان تابعی از مکان، برای نـرخ انـرژی w/m^3 ۹ ۱۰ × ۴/۷۸ و دمـای اولیه 1250 K برای مخلوط هیدروژن- هوا جدول ۱ و ۲ پیوست ۷۶

شکل ۴-۱۴ : مقایسه تغییرات دما بر حسب زمان از نتایج محاسباتی حاضر و نتایج محاسباتی مرجع [۳۴] ۷۷

شکل ۴-۱۵ : تغییرات غلظت جرمی گونه های شیمیایی بر حسب زمان ۷۸

شکل۴-۱۶ : مقایسه زمان انگیزش در حالت تعادلی برای نسبت هم ارزی های ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴ ۷۹

شکل ۴-۱۷ : مقایسه زمان انگیزش در حالت غیر تعادلی برای نسبت هم ارزی های ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴ ۷۹

شکل ۴-۱۸ : مقایسه زمان انگیزش برای حالت تعادلی و غیر تعادلی برحسب دما در نسبت هم ارزی ۰/۶ ۸۰

شکل ۴-۱۹ : مقایسه زمان انگیزش برای حالت تعادلی و غیر تعادلی برحسب دما در نسبت هم ارزی ۰/۸ ۸۰

شکل ۴-۲۰: مقایسه زمان انگیزش برای حالت تعادلی و غیر تعادلی برحسب دما در نسبت هم ارزی ۱/۰ ۸۱

شکل۴-۲۱ : مقایسه زمان انگیزش برای حالت تعادلی و غیر تعادلی برحسب دما در نسبت هم ارزی ۱/۲ ۸۱

شکل۴-۲۲ : مقایسه زمان انگیزش برای حالت تعادلی و غیر تعادلی برحسب دما در نسبت هم ارزی ۱/۴ ۸۲

فهرست علائم و اختصارات

عنوان	صفحه
Deflagration to Detonation Transition	DDT
Landau–Darrieus instability	L-D
سرعت محوری	$V(x)$
طول پیش از انفجار	x_D
فشار	P
قطر لوله	d
چگالی	ρ
سرعت	$\vec{v}$
غلظت جرمی جزء k ام	Y_k
شار نفوذی آشفته جزء k ام	$\vec{I}_k$
نرخ تولید جزء k ام	$\dot{w}_k$
انرژی مخصوص	E
جریان انرژی گرمائی آشفته	$\vec{I}_q$
تانسور تنش	τ
انرژی ورودی	$\dot{E}_{ex}$
دما	T
ثابت جهانی گازها	R_g
جرم مولکولی جزء k ام	W_k
انرژی داخلی جزء k ام	e_k
انرژی آشفتگی است	k
شار گرمائی هدایتی آشفته	$\vec{J}_q$
لزجت آشفته سینماتیکی	v^t

فهرست علائم و اختصارات

عنوان	صفحه
اتلاف انرژی آشفتگی	ε
تانسور واحد	U
ضریب نفوذ	D
ظرفیت گرمائی ویژه فشار ثابت	C_{pk}
ضریب هدایت گرما	λ
لزجت	μ
تانسور تنش آشفتگی	τ^{t}
انرژی جرقه	E_{ign}
زمان اعمال انرژی جرقه	t_{ign}
حجم جرقه	Ω_{ign}
ضرایب استوکیومتریک واکنش دهنده ها	v'_{i}
ضرایب استوکیومتریک محصولات	v''_{i}
نمادی برای همه گونه های شیمیایی	M
تعداد کل گونه های موجود	N
غلظت گونه شیمیایی	C_{m_i}
فرکانس برخورد	βT^{α}
انرژی فعال سازی	E_a
ضریب پیشرو	k_f
ضریب پس رو	k_b
ثابت تعادل	k_c
فشار اتمسفر	P_{atm}
آنتروپی حالت استاندارد	s_i^0
آنتالپی حالت استاندارد	h_i^0

فهرست علائم و اختصارات

عنوان	صفحه
دمای انتقالی	T_i
انرژی درونی در واحد جرم	e_i
فشار جزئی	p_i
جرم بر واحد مول برای ذره i ام	M_i
بخش تعادلی انرژی درونی	$\tilde{e}_i$
بخش غیر تعادلی انرژی درونی	e_{ni}
گرمای ویژه در حجم ثابت	$\tilde{c}_{vi}$
گرمای تشکیل ذره i ام	h_{fi}
انرژی درونی ویژه کاهیده	$\tilde{e}$
گرمای ویژه کاهیده حجم ثابت	$\tilde{c}_v$
گرمای ویژه کاهیده فشار ثابت	$\tilde{c}_p$
ثابت گاز کاهیده	$\tilde{R}$
نسبت گرماهای ویژه کاهیده	$\tilde{\gamma}$
توزیع تعادلی	e_{vi}^*
دمای مشخصه برای ارتعاش ذره i ام	Θ_{vi}
زمان تخفیف ارتعاشی ذره i ام	τ_i
بردار متوسط وزنی متغیر های پایا	$\vec{U}$
بردار شار	$\vec{F}$
بردار شار	$\vec{G}$
بردار متغیرهای ناپایا	V
ماتریس ژاکوبین	A
مقادیر ویژه ماتریس	λ_i
سرعت صوت	a

فهرست علائم و اختصارات

عنوان	صفحه
سرعت در جهت x	u
سرعت در جهت y	v

فهرست پیوست

عنوان	صفحه
پیوست ۱	۸۵

فصل۱:

طرح مسئله ی تحقیق

۱-۱ مقدمه

در این فصل به ارائه ی یک نمای کلی از تحقیق صورت گرفته می پردازیم. امروزه تحقیقات فراوانی در زمینه ی پدیده ی گذر احتراق به انفجار[۱] (DDT) در حال انجام است و علت این امر آن است که استفاده از موج های انفجاری، خصوصا استفاده از موج انفجار ناشی از این پدیده کاربردهای فراوانی یافته است.

امروزه استفاده از روش های عددی در تحلیل پدیده ها از اهمیت زیادی برخوردار بوده و به عنوان ابزار کارآمدی در طراحی وسایل مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. در این راستا در این تحقیق اثر مدل سازی جرقه، مکانیزم احتراق بکار رفته و اثر ترم تخفیف ارتعاشی[۲] در محاسبات طول پیش از انفجار بررسی شده است. دو نوع مدل سازی جرقه مورد مقایسه قرار گرفته است. در مدل اول در ناحیه مشخص مخلوط گرم می گردد تا فرایند سوختن مخلوط آغاز گردد. در مدل دوم دمای اولیه مخلوط در ناحیه مشخص چنان در نظر گرفته می شود که برای آغاز احتراق کافی باشد. جهت بررسی اثر مکانیزم بکار رفته در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار دو نوع مکانیزم مختصر(شامل هفت جزء و هفت واکنش دو طرفه) و مفصل (شامل دوازده جزء و سی و پنج واکنش دو طرفه) با هم مقایسه شده اند. برای بررسی اثر ترم تخفیف ارتعاشی بر محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار اثر این ترم بر زمان انگیزش[۳] مورد مطالعه قرار گرفته است.

[1] - Deflagration-to-detonation transition
[2] - Vibrational relaxation
[3] - Induction time

۱-۲ بیان مساله تحقیق:

امروزه استفاده از موج انفجار و به ویژه استفاده از موج انفجار ناشی از پدیده گذر احتراق به انفجار کاربرد های فراوانی یافته است. در چند سال اخیر تحقیقات فراوانی در زمینه شناخت پدیده گذر احتراق به انفجار و عوامل موثر بر آن و نیز نحوه کنترل آن صورت گرفته است [۱].

از آنجائیکه بررسی تجربی پدیده گذر احتراق به انفجار با مشکلات فراوانی همراه است ، استفاده از حل های عددی می تواند در کاهش آزمایش های مورد نیاز مفید باشد. اما محاسبات دقیق نیازمند مدل های واقعی تر و روشهای عددی مناسب تر است. در این پژوهش سعی بر این است که با توجه به ماهیت فرآیند گذر احتراق به انفجار اثر مدل سازی جرقه، مکانیزم احتراق و ترم تخفیف ارتعاشی موجود در رابطه انرژی داخلی در محاسبات فرآیند گذر احتراق به انفجار بررسی شود.

۱-۳ اهداف تحقیق

الف- بررسی اثر مدل سازی جرقه بر طول و زمان پیش از انفجار.

ب- بررسی اثر مکانیزم احتراق در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار.

ج- استخراج روابط مورد نیاز با در نظر گرفتن اثر ترم تخفیف ارتعاشی در محاسبات گذر احتراق آشفته به انفجار.

د- تعیین اثر ترم تخفیف ارتعاشی بر پدیده گذر احتراق به انفجار.

۱-۴ سوالات یا فرضیه های تخصصی

۱- میزان تاثیر مدل سازی جرقه در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار تا چه حد است؟

۲- میزان تاثیر مکانیزم احتراق در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار تا چه حد است؟

۳- میزان تاثیر ترم تخفیف ارتعاشی در محاسبات فرایند گذر احتراق به انفجار تا چه حد است؟