Archive of SID

اولین کنفرانس احتراق ایران
بهمن ماه ۱۳۸۴ - تهران- دانشگاه تربیت مدرس
انجمن احتراق ایران

مطالعهٔ تجربی اثرهمزمان رقیق سازی یا افزایش اکسیژن و پیش گرم کردن هوا بر شعله نفوذی گاز طبیعی

امیرمردانی[۱]، صادق تابع جماعت[۲]
تهران- خیابان حافظ- تقاطع سمیه- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- دانشکده هوافضا
Amir79_mardani@yahoo. com

چکیده

یکی از انواع شعله، شعله نفوذی می باشد که بدلیل کاربردهای صنعتی، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و بسیاری از کوره های صنعتی و تجهیزات حرارتی از نوعی شعله نفوذی بهره می گیرند . لذا کنترل پارامترهای شعله نفوذی نظیر میزان تولید NO_x، طول شعله، پایداری آن، حد Blow Out شعله، میزان برخاستگی آن و ... مهم و مورد توجه می باشد. در همین راستا یکی از روشهایی که مورد توجه قرار گرفته ، بحث پیش گرم کردن و رقیق سازی هوا می باشد . در تحقیقات صورت گرفته اغلب به ویژگیهای شعله با پیش گرم جریان گازهای اولیه پرداخته شده است. در پژوهش حاضر اثر پیش گرم اکسید کننده تا ۴۵۰ k بر رقیق سازی با N2 و CO2 در شعله نفوذی گاز شهری مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج آن، با حالت بدون پیش گرم مقایسه و پدیده هایی که در شعله، در اثر رقیق سازی اتفاق می‌افتد، بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: مطالعه تجربی- شعله نفوذی-گازطبیعی- رقیق سازی- پیش گرم.

۱- مقدمه

یکی از انواع شعله، شعله نفوذی می باشد که بدلیل کاربردهای صنعتی ، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و بسیاری از کوره های صنعتی و تجهیزات حرارتی از نوعی شعله نفوذی بهره می گیرند . لذا کنترل پارامترهای شعله نفوذی نظیر میزان تولید NO_x، طول شعله، پایداری آن، حد Blow Out شعله، میزان برخاستگی آن و ... مهم و مورد توجه می باشد.

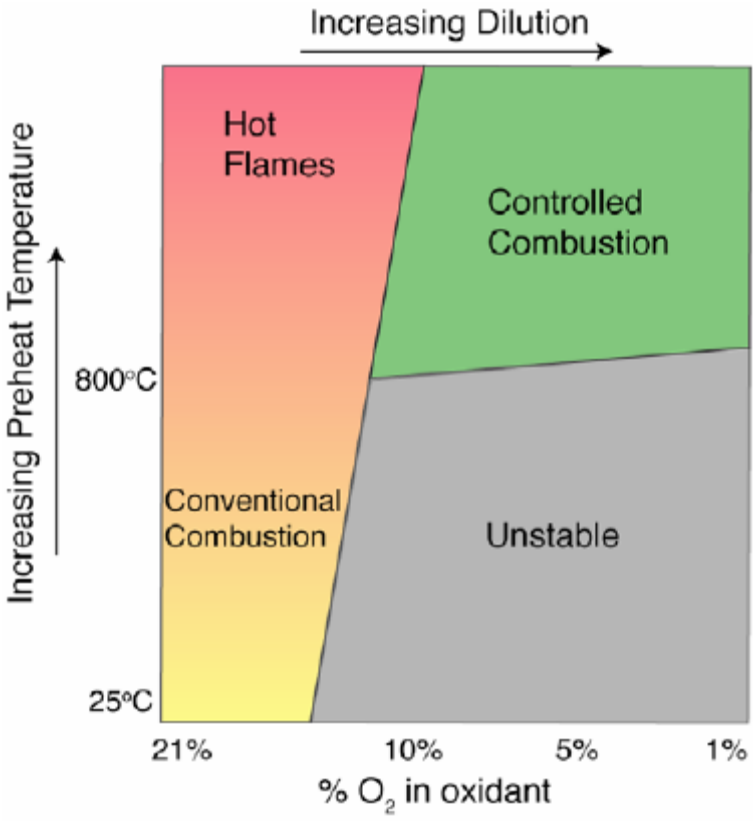
در همین راستا یکی از روشهایی که مورد توجه قرار گرفته، بحث پیش گرم کردن و رقیق سازی هوا می باشد . همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می شود،[۱]. پیش گرم کردن هوا باعث ایجاد شعلهٔ پایدار در محدودهٔ نسبت اختلاط های مختلف می شود . با پیش گرم کردن اکسیدکننده با پدیده جدیدی از احتراق روبرو خواهیم شد و شعله‌ای خواهیم داشت که در آن توزیع دما یکنواخت تر ، منطقه واکنش وسیعتر و لذا راندمان احتراقی بالاتر است.

هر چند پیش گرم کردن خود به تنهایی موجب افزایش دمای محصولات احتراق ودر نتیجه افزایش تولید NO_X حرارتی و مشکلات اجرایی در کوره ها خواهد شد ولی این اثر توسط رقیق سازی جبران می شود و در نهایت با پیش گرم کردن و رقیق سازی همزمان هوا به نتایج مطلوبی خواهیم رسید. در همین زمینه تحقیقات زیادی توسط پژوهشگران صورت گرفته است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد پیشرانش دانشکده هوافضا دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشیار دانشکده هوافضا دانشگاه صنعتی امیرکبیر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- رژیمهای احتراقی گاز طبیعی با تغییر اکسیژن و دمای پیش گرم

Shimo وهمکارانش،[۲] به بررسی احتراق نفت سفید و هوای پیش گرم شده تا دمای ۱۳۰۰k و رقیق سازی هوا با N2 و Ar و اثرات خواص سوخت پرداخته‌اند. Gupta ،[۳] اثر پیش گرم و رقیق سازی هوا برای شعله نفوذی متان ، پروپان ، هیدروژن و استیلن را مطالعه نموده است. Atrega و همکارش،[۴] افزایش راندمان احتراق و کاهش تولید آلاینده ها را در کوره ذوب فلزات و شیشه بوسیله پیش گرم و تغلیظ هوا با اکسیژن را مطالعه نموده‌اند. Bowman و همکارانش ،[۱] نیز به بررسی راهکارهای کنترل احتراق از جمله پیش گرم کردن و رقیق سازی پرداخته اند . Hasegawa و همکارانش،[۵] بهینه سازی کوره های صنعتی بوسیله پیش گرم را بررسی کرده‌اند. Moore و همکارانش،[۶] اثر پیش گرم شعله متان- اکسیژن را در محدوده دمایی K ۲۹۸-۳۹۸ مطالعه نموده اند. , Lille و همکارانش ،[۷] اثر پیش گرم اکسیدکننده تا دمای k ۸۹۰-۸۶۰ ورقیق سازی را بررسی نموده اند.

yang و همکارانش،[۸] به بررسی عددی اثرات دمای جت سوخت پروپان و در تحقیقی دیگر Yang و همکارانش ،[۹] به مدلسازی تولید NO در پیش گرم زیاد پرداخته اند. Konsur و همکارانش ،[۱۰] به تاثیر پیش گرم سوخت در تولید دوده و اثرات رقیق سازی و جاذبه را مطالعه نموده اند.

در تحقیقات صورت گرفته اغلب به ویژگیهای شعله با پیش گرم جریان گازهای اولیه پرداخته شده است. در پژوهش حاضر به مطالعه اثر پیش گرم اکسید کننده تا k ۴۵۰ بر رقیق سازی با N2 و CO2 در شعله نفوذی گاز شهری پرداخته و نتایج آن را با حالت بدون پیش گرم مقایسه کرده و پدیده هایی که در شعله، در اثر رقیق سازی اتفاق می افتد،مورد تحلیل قرار گرفته است . لذا هدف پروژه، تحقیق حاضر را از سایر تلاشهای صورت گرفته متمایز می کند.

۲- مشخصات آزمایش

به منظور مطالعه شعله دیفیوژن گاز طبیعی، یک مشعل Co-Flow طراحی و ساخته شد،شکل (۲). در این مشعل، قطر

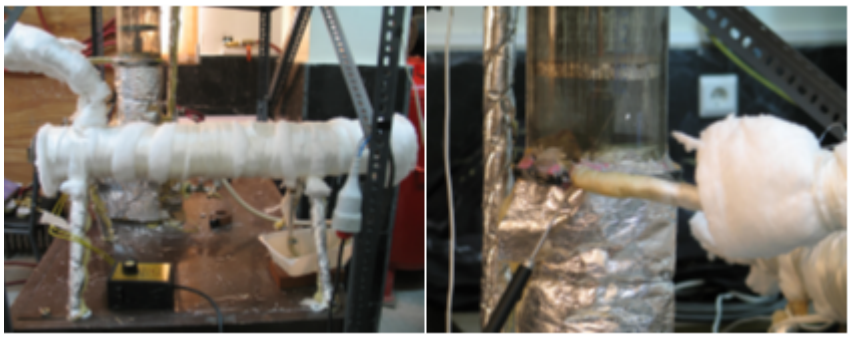
www.SID.ir

Archive of SID

لوله خروجی سوخت ۴،۸ میلی متر می باشد که در مرکز لوله خروجی اکسیدکننده به قطر داخلی ۱۱،۲۷۶سانتی متر بصورت عمودی قرار گرفته است و توسط یک لوله پیرکس به طول ۹۰ سانتی متر و قطر داخلی ۱۳ سانتی متر که روی لوله اکسیدکننده نصب شده، از اختلاط و نفوذ هوای اطراف به داخل جریان اکسید کننده جلوگیری می شود.

شکل ۲- مشعل ساخته شده

جهت پیش گرم کردن اکسید کننده یک هیتر الکتریکی طراحی شد. و برای جلوگیری از اتلاف حرارتی و افت دما، کل سیستم توسط پشم سرامیک وپشم شیشه عایق کاری شده است، شکل(۳). بمنظور جلوگیری از افت دمای جریان گاز خروجی از هیتر، تا زمانی که به منطقه واکنش برسد، با ساخت یک پخش کننده گاز، سعی شد جریان گاز در نزدیکترین محل ممکن به منطقه واکنش در مشعل تزریق گردد.



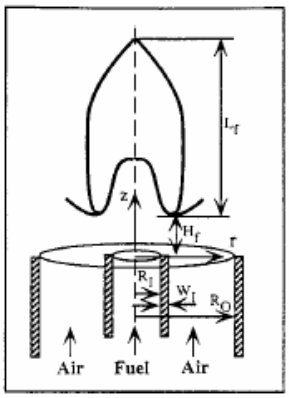
شکل ۳- هیتر الکتریکی و نحوه اتصال آن به سیستم

در این آزمایشات جریان سوخت و هوا و سایر گازها توسط شیرهای حساس و دبی سنجهایی با دقت fs ۰،۲٪ کنترل می شوند. سپس از شعله توسط دوربین عکاسی دیجیتال کانن Power Shot G6 و با دقت ۷،۱ مگاپیکسل بصورت مستقیم عکسبرداری و تصاویر توسط نرم افزار Adobe Photoshop بصورت هندسی و کیفی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

سوخت مورد استفاده گاز شهری می باشد . هوا از طریق یک کمپرسور تامین و توسط یک سیستم خشک کن وفیلترهای مناسب ، رطوبت و ذرات معلق آن گرفته می شود. مشخصات ارائه شده در نمودار های مقاله، مطابق تعاریف شکل (۴) می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- شماتیک مشعل بدون شیشه پیرکس

۳- بررسی نتایج

در این مطالعه در سه مرحله زیر به انجام آزمایش ومشاهده نتایج حاصله پرداخته شده است.

- اثر پیش گرم بر شعله نفوذی گاز طبیعی
- اثر پیش گرم در فرآیند تغلیظ هوا با اکسیژن
- اثر پیش گرم بر رقیق سازی اکسیژن با CO2

۳-۱- اثر پیش گرم بر شعله نفوذی گاز طبیعی

بمنظور مشاهده اثر پیش گرم در چندین حالت دمای اکسیدکننده تا دمای ۴۷۰ افزایش داده شد. یک نمونه از نتایج در شکل (۵) ارائه شده است.

شکل ۵- تغییر شکل شعله نفوذی گاز طبیعی واکسیدکننده (80% Air+20% O2) در شرایط(Q_f= 65ml/min و $Q_{oxidizer}$= 36 l/min)

مشاهده می شود که با افزایش دما شعله تا حدودی کوتاهتر و پهن تر می شود و منطقه درخشان شعله بزرگتر می شود. که این پدیده احتمالا بعلت افزایش آنتالپی مواد اولیه لذا گسترده شدن منطقه واکنش می باشد ، چرا که در محدوده وسیع تری از نسبتهای اختلاط احتراق خواهیم داشت .

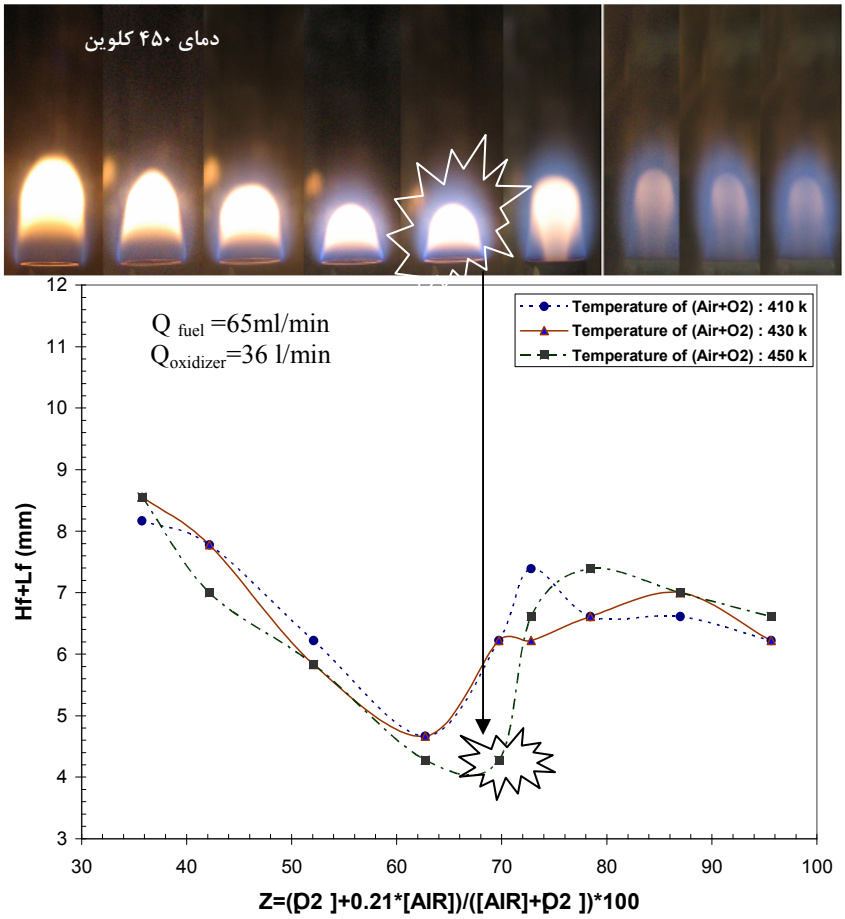
با افزایش دما مشاهده شد که شعله در راستای شعاعی دارای حرکت نوسانی می شود و هر چه دما بیشتر افزایش می یابد تعداد نوسانات بیشتر شده لذا عکسبرداری مستقیم از شعله مشکلتر خواهد شد. به همین دلیل برای بمنظور عکسبرداری از شعله سرعت شاتل دوربین را افزایش دادیم.

۳-۲- اثر پیش گرم در فرآیند تغلیظ هوا با اکسیژن

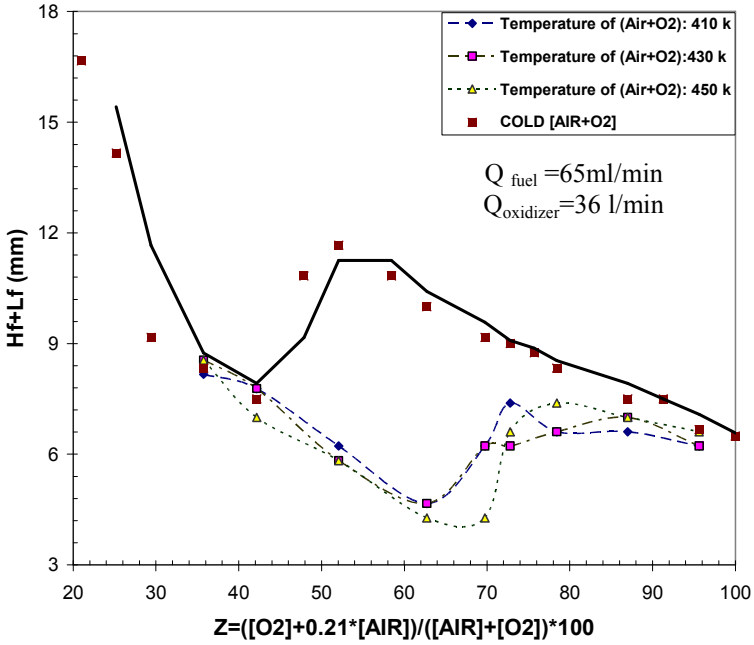
در این آزمایشَ هوای ورودی به مشعل را با تزریق اکسیژن درآن تغلیظ نموده و سپس با عبور مخلوط از هیتر الکتریکی تا دمای k ۴۵۰ گرم شد و بعد مخلوط پیش گرم شده را وارد مشعل نمودیم. سرعت خروجی اکسیدکننده و سوخت (cm/s) ۶ می باشد در شکلهای (۶) و(۷) نتایج ارائه شده است

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- اثر تغلیظ هوا بر شعله نفوذی گاز طبیعی در سه دمای مختلف پیش گرم



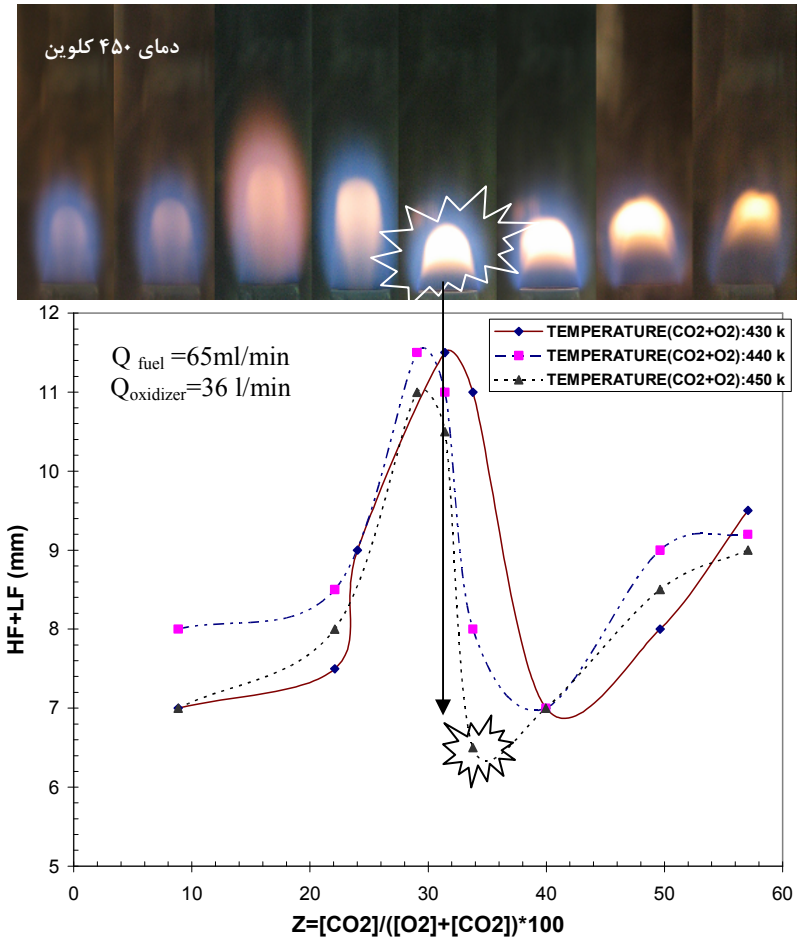
شکل ۷- مقایسه اثر تغلیظ هوا با اکسیژن بر شعله نفوذی گاز طبیعی در حالت پیش گرم و بدون پیش گرم

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود با رقیق سازی هوا و کاهش اکسیژن در دسترس، شکل شعله تغییر کرده و دارای شکلی متفاوت از حالت معمول خواهد که می توان آن را به عنوان تغییر رژیمی در شعله در نظر گرفت و با افزایش دما تغییر رژیم شعله در اثر تغلیظ دیرتر اتفاق می افتد یعنی در نسبتهای بالاتری از اکسیژن رخ می دهد . همچنین طول شعله نیز کوتاهتر می شود .شکل (۷) نشان می دهد که این تغییر رژیم بطور کلی برای حالت پیش گرم نسبت به حالت بدون پیش گرم در نسبتهای بالاتری از اکسیژن رخ می دهد. بدین صورت که تغییر رژیم در حالت تست سرد در ۴۱٪ اکسیژن (در کل مخلوط Air + O2) اتفاق می افتد ، ولی در حالت پیش گرم در دمای k ۴۵۰ ، این اتفاق در ۷۰٪ اکسیژن رخ می دهد. همچنین مشاهده شد که با افزایش دما، تغییر رژیم سریعتر رخ می دهد، یعنی در تست سرد زمانی که تغییر رژیم شروع می شود تا زمانی که رژیم کاملا تغییر می کند، میزان اکسیژن تقریبا ۱۰٪ افزایش می یابد ولی در حالت پیش گرم این محدوده به ۴٪ کاهش می یابد.

در رژیم جدید شعله نیز صدای ارتعاش مانند حالت تست سرد بگوش می رسد که این صدا با ادامه افزایش درصد O2 از بین می رود. با افزایش دما طول شعله کاهش می یابد . این پدیده به علت تشدید واکنشهای شیمیایی و انجام واکنش در طیف گسترده تری از نسبت سوخت به اکسیژن ،در اثر افزایش آنتالپی مواد اولیه، می باشد. مشاهده شد که با افزایش دما، شعله در راستای شعاعی حرکت تصادفی و نوسانی پیدا می کند که البته دامنهٔ این نوسانات عرضی با افزایش درصد O2 در هوا کاهش می یابد.



شکل ۸- اثر رقیق سازی اکسیژن با دی اکسید کربن بر شعله نفوذی گاز طبیعی در حالت پیش گرم اکسیدکننده

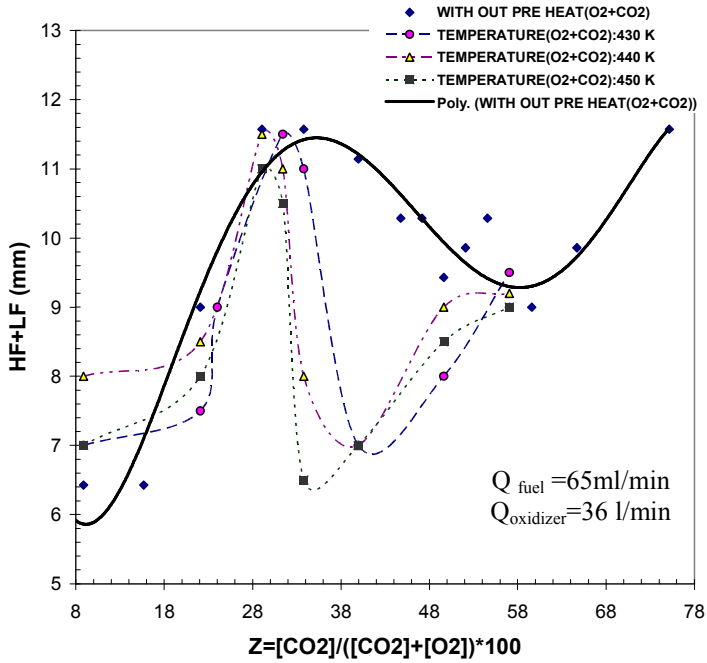
www.SID.ir

Archive of SID

۳-۳- اثر پیش گرم بر رقیق سازی اکسیژن با CO2

در این آزمایش، اکسیژن ورودی به مشعل را با تزریق CO2 رقیق نموده و سپس با عبور از هیتر الکتریکی آنرا تا دمای k ۴۵۰ پیش گرم نمودیم.

سرعت سوخت (cm/s) ۶ و سرعت مخلوط (CO2+O2) را نیز ثابت و برابر (cm/s) ۶ می باشد. نتایج بدست آمده در شکلهای (۸) و (۹) ارائه شده است.



شکل ۹- مقایسه اثر رقیق سازی اکسیژن با دی اکسید کربن بر شعله نفوذی گاز طبیعی در حالت پیش گرم اکسیدکننده و بدون پیش گرم

در شکل (۸) قابل مشاهده است که پیش گرم موجب می شود تغییر رژیم شعله در اثر رقیق سازی اکسیژن با CO2 در نسبتهای بالا تری از اکسیژن اتفاق بیافتد . شکل (۹) بیانگر آن است که تغییر رژیم در حالت پیش گرم ، در در صد اکسیژن بالاتری نسبت به حالت بدون پیش گرم اتفاق می افتد و محل تغییر رژیم شعله از حدود ۵۸٪ حجمی CO2 در حالت بدون پیش گرم به نقطه ۳۱٪ حجمی CO2 در دمای پیش گرم k ۴۵۰ انتقال می یابد. همچنین در حالت پیش گرم در رژیم جدید ، طول شعله کوتاهتر از حالت بدون پیش گرم می باشد و با افزایش دما کاهش می یابد .

در آزمایشات مشاهده شد که با افزایش دما برخاستگی شعله در درصدهای پایین تری از اکسیژن رخ می دهد زیرا با افزایش آنتالپی مواد اولیه در محدوده وسیعتری از نسبتهای اختلاط، احتراق خواهیم داشت .

مشاهده می شود که با افزایش دما شعله در راستای شعاعی حرکت نوسانی پیدا می کند و همین پدیده موجب شد که نتوانیم میزان برخاستگی شعله را بررسی نماییم. چون به محض اینکه شعله از دهانه نازل جدا می شود، در اثر نوسانات، ناپایدار شده و از بین می رود.

در این آزمایش نیز مشاهده شد از محدوده ۸٪ CO2 تا محل تغییر رژیم یعنی ۳۱٪ حجمی CO2 درست مانند حالت بدون پیش گرم از شعله صدای ارتعاش بگوش می رسد و بعد از تغییر رژیم صدای ارتعاش از بین می رود.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- نتیجه‌گیری کلی

۱- پیش گرم موجب می شود شکل شعله از حالت مخروطی به حالت استوانه ای نزدیکتر شود. و منطقه درخشان شعله بزرگتر شده و طول شعله کاهش یابد یعنی منطقه واکنش وسیعتر می شود .

۲- با افزایش دما تغییر رژیم در میزان اکسیژن بیشتری نسبت به حالت بدون پیش گرم اتفاق می افتد. همچنین در مرحله تغییر شکل، تحول در بازه کوچکتری از تغییرات اکسیژن رخ خواهد داد.

۳- در محدوده تغییر رژیم طول شعله در حالت پیش گرم خیلی کمتر از حالت بدون پیش گرم می باشد.

۴- در حالت پیش گرم برخاستگی شعله دیرتر اتفاق می افتد.

۵- در رقیق سازی با CO2 تغییر رژیم در درصد بالاتری از اکسیژن نسبت به حالت رقیق سازی با N2 رخ می دهد.

۶- اثر پیش گرم کردن بر شعله رقیق شده با CO2 تقریبا با شعله رقیق شده با N2 یکسان است و با CO2 تغییررژیم از محل ۴۲٪ O2 در حالت بدون پیش گرم به موقعیت ۶۶٪ O2 در حالت پیش گرم در دمای ۴۵۰K و با N2 از محل ۴۱٪ O2 در حالت بدون پیش گرم به ۶۸٪ O2 در حالت پیش گرم در دمای ۴۵۰K انتقال می یابد .

مراجع

1- Craig T. Bowman. , Kevin Walters, Adela Bardos, Controlled Combustion—An Approach for Reducing Irreversibilities in Energy Conversion GCEP Technical Report 2005,http://gcep.stanford.edu
2- Nobuo SHIMO,Yoshitaka Koyama , Kunio Yoshikawa, LOW NOx COMBUSTION OF PETROLEUM WITH HIGHLY PREHEATED AIR~ INLUENCES OF FUEL PROPERTIES, Proceedings of 2000 International Joint Power Generation Conference ,Miami Beach, Florida, July 23-26, 2000
3- Ashwani K. Gupta , FLAME CHARACTERISTICS AND CHALLENGES WITH HIGH TEMPERATURE AIR COMBUSTION , Proceedings of 2000 International Joint Power Generation Conference Miami Beach, Florida, July 23-26, 2000 ,IJPGC2000-15087
4- *Arvind Atreya , David Everest*, Highly Preheated Combustion Air Furnace with Oxygen Enrichment for Metal Processing to Significantly Improve Energy Efficiency and Reduce Emissions , *University of Michigan*
5- T. Hasegawa , S. Mochida, A. K. Gupta, Development of Advanced Industrial Furnace Using Highly Preheated Combustion Air , JOURNAL OF PROPULSION AND POWERVol. 18, No. 2, March–April 2002
6- FREY, D. MOORE. , GRANT A. RISHA , KENNETH K. KUO , MARK D. D'AGOSTINI , EFFECT OF INITIAL GAESOUS REACTANT TEMPERATURE ON FUEL-ICH COAXIAM DIFFUSION FLAME STABILIY , EASTERN STATE SECTION OF HE COMBUSTION INSTITUTE, 26-29 OCTOBER 2003
7- SIMON LILLE,WLODZIMIERZ & MARCIN JEWARTOWSKI , EXPERIMENTAL STUDY OF THE FUEL JET COMBUSTION IN HIGH TEMPERATURE AND LOW OXYGEN CONTENT EXHAUST GASES
8- WEIHONG YANG, WLODZIMIERZ BLASIAK , NUMERICAL STUDY OF FUELTEMPERATURE INFLUENCE ON SINGLE GAS JET COMBUSTION IN HIGHLY PREHEATED AND OXYGEN DEFICIENT AIR ,ENERGY,30, 385-398, 2005.
9- WEIHONG YANG, WLODZIMIERZ BLASIAK, MATHEMATICAL MODELLING OF NO EMISSIONS FROM HIGH-TEMPERATURE AIR COMBUSTION WITH NITROUS OXIDE MECHANISM , FUEL PROCESSING TECHNOLOGY,86, 943-957, 2005.
10- BOGDAN KONSUR , CONSTANTINE M. MEGARIDIS, DEVON W. GRIFFIN,FUEL PREHEAT EFFECTS ON SOOT-FIELD STRUCTURE IN LAMINAR GAS JET DIFFUSION FLAMES BURNING IN 0-G AND 1-G , WWW.ELSEVIER.COM

www.SID.ir