

بررسی آزمایشگاهی اثر نوع بستر بر دمای محافظ احتراق در مشعلهای محیط متخلخل

سید اکبر شکیبای^{۱*}، رضا ابراهیمی^۲، مهرزاد شمس^۳

تهران، فلکه چهرم تهرانپارس، وفادار شرقی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده هوا فضا، آزمایشگاه احتراق و پیشرانش
(*shakibaesfahani@gmail.com)

چکیده

با توجه به کاهش یافتن منابع سوخت فسیلی و آلاینده‌های آنها امروزه توجه زیادی به احتراق با راندمان بالا و آلاینده‌گی کم شده است. مشعل‌های با بستر متخلخل به هر دو نیاز فوق پاسخ می‌دهند. در این مطالعه آزمایشگاهی از یک مشعل محیط متخلخل، که سوخت آن گاز شهری می‌باشد و در دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ساخته و بهبود داده شده، استفاده گردیده است. از فوم‌های سرامیکی آلومینایی و سیلیکونی به عنوان بستر متخلخل استفاده شده و با تغییر ساختار و جنس محیط متخلخل اثرات آن بر روی دمای محافظه احتراق سنجیده شده است. نتایج نشان می‌دهند که کاهش میزان تخلخل باعث جلوگیری از جبهه شعله می‌شود. ریزتر شدن ساختار فوم‌ها و افزایش تعداد حفره‌های محیط باعث پایداری بیشتر شدن احتراق می‌شوند. دمای محافظه احتراق هنگام استفاده از فوم‌های آلومینایی بالاتر است. بزرگ شدن قطر حفره و افزایش تخلخل منجر به احتراق کاملتر در حالت احتراق استوکیومتری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فوم سرامیکی، چگالی خلل و فرج، تخلخل

۱- مقدمه

به تکنولوژی مشعلهای متخلخل یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی و تولید آلودگی است که در سالهای اخیر توسط محققان و پژوهشگران معرفی شده است. در محافظه احتراق این مشعلها از یک جسم متخلخل استفاده شده است. این جسم متخلخل معمولاً از جنس سرامیک است و با اشکال و گونه‌های متفاوتی در این مشعلها به کار می‌رود. در برخی از موارد ممکن است جنس این ماده متخلخل از آلیاژهای فلزی مخصوص باشد. وجود این جسم متخلخل در محافظه احتراق مشعل، باعث پیدایش خواص مطلوبی در این مشعلها می‌شود.

از جمله برتری‌های مشعلهای متخلخل نسبت به مشعلهای معمولی کاهش آلودگی، کاهش حجم، افزایش محدوده شعله وری، توزیع یکنواخت حرارت در مشعل، افزایش محدوده توان دینامیکی، کاهش سروصدا و... می‌باشد. وجود برتری‌های فوق در این مشعلها موجب می‌شود تا کاربرد فراوانی در صنایع مختلف پیدا کنند. به عنوان مثال می‌توان به کاربرد این مشعلها در سامانه‌های گرمایش منازل، سامانه‌های احتراق با سوخت مایع، فرایندهای تولید بخار، خشک کن‌ها اشاره نمود.

مکانیزم انتقال حرارت در مشعلهای با محافظه متخلخل، با مشعلهای معمولی کاملاً متفاوت است. مهم‌ترین نوع انتقال حرارت در مشعلهای معمولی جابجایی می‌باشد که توسط محصولات احتراق صورت می‌گیرد. در حالی که در مشعلهای با محافظه

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده هوا و فضا، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده هوا و فضا، آزمایشگاه احتراق و پیشرانش

۳- دانشیار دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مکانیک، آزمایشگاه جریان‌های دو فاز و احتراقی



متخلخل، علاوه بر هدایت و جابجایی، تابش نیز نقش بسیار عمده ای را در انتقال حرارت مشعل ایفا می کند، که به دلیل قابلیت گداختگی بالا در اجسام متخلخل می باشد.

انرژی تابشی موجب افزایش میزان انتقال حرارت در مشعلهای متخلخل نسبت به مشعلهای معمولی شده و در نتیجه دمای بیشینه شعله کاهش یافته و به همین دلیل میزان تولید NO حرارتی نیز کاهش می یابد. البته این انرژی تابشی به قسمت ورودی مشعل نیز تابیده شده و موجب پیش گرمایش مخلوط سوخت و هوا می گردد. عمل پیش گرمایش، سرعت شعله را افزایش داده و در نتیجه محدوده شعله وری افزایش می یابد. عمل پیش گرمایش همچنین باعث افزایش پایداری احتراق می گردد.

کاهش دمای احتراق یکی از عوامل برتری مشعلهای متخلخل نسبت به مشعلهای معمولی است. یکی از دلایل کاهش دما، انتقال حرارت تابشی است. دلیل دیگر، بالا بودن ضریب هدایت حرارتی در اجسام متخلخل می باشد. از آنجایی که ضریب هدایت حرارتی اجسام متخلخل بسیار بالاتر از ضریب هدایت حرارتی گاز است (حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر)، بنابراین وجود جسم متخلخل در محفظه احتراق، موجب انتقال حرارت هدایتی شده و در نتیجه از بالا رفتن بیش از حد دمای محفظه احتراق جلوگیری می کند. علاوه بر این موجب توزیع یکنواخت دما در سطح جسم می گردد.

بالا بودن میزان انتقال حرارت در اجسام متخلخل تنها به دلیل داشتن ضریب انتقال حرارتی بالا نیست، بلکه وجود خلل و فرج های بسیار در اجسام متخلخل موجب می شود تا سطح انتقال حرارت افزایش یافته و در نتیجه میزان انتقال حرارت نیز به همین نسبت زیاد می شود.

کار های انجام گرفته در زمینه مشعلهای متخلخل به اوایل دهه ۸۰ مربوط میشود. تاکانو^۱ و ساتو^۲ یک قطعه متخلخل جامد با ضریب هدایت بالا را در یک شعله برای پیش گرمایش هوای ورودی استفاده کردند. هاشیموتو^۳ و همکاران، کوتانی^۴ و تاکانو، کوتانی و همکاران از مجموعه ای از لوله های سرامیکی به عنوان محیط متخلخل استفاده کردند. بابکین و همکاران دریافتند که وقتی اندازه سوراخها کاهش پیدا کند سرعت شعله کم می شود این با آزمایشات دست مطابقت دارد. فاکس^۵ و هاردستی^۶ و وینبرگ^۷ نیز به طور جداگانه تاثیر پیش گرم شدن مخلوط ورودی به محیط متخلخل را روی افزایش سرعت شعله مورد بررسی قرار دادند. هاول^۸ برای افزایش راندمان احتراق از فوم سرامیکی با ساختار دوازده وجهی استفاده نمود. دورست^۹ و همکارانش یک مشعل متصل به مبدل حرارتی را آزمایش نمودند. هسیو^{۱۰} و همکارانش تعدادی آزمایش را برای تعیین حد پایین احتراق با تغییر اندازه سوراخها در پایین دست جریان انجام دادند.

خانا^{۱۱} و همکاران تحقیقات آزمایشگاهی بر احتراق متان و هوا در یک محیط متخلخل دو قسمتی برای نسبتهای تعادلی و نرخ و نرخ جریان مختلف انجام دادند و انتشار آلودگی و تشعشع را اندازه گیری نمودند. اسموکر^{۱۲} و همکارانش [نتایج آزمایشگاهی و عددی برای یک مشعل دو قسمتی با مخلوط هوا/پروپان را بررسی کردند. دلایچ^{۱۳} و همکارانش یک مشعل متخلخل دو قسمتی با توان ۱۰kW و متصل به یک مبدل حرارتی را تحلیل و آزمایش کردند به منظور افزایش انتقال حرارت بین گاز و مبدل،

¹ T. Takeno

² K. Sato

³ T. Hashimoto

⁴ Y. Kotani

⁵ J.S.Fox

⁶ D.R.Hardesty

⁷ F.J.Weinberg

⁸ J.R.Howell

⁹ F.Durst

¹⁰ P.F.Hsu

¹¹ Khanna

¹² M. T. Smucker

¹³ N.Delalic

فضای اطراف بین محفظه احتراق و مبدل از ریگهای سرامیکی پر شده است. شفيعی و همکارانش یک مشعل متخلخل به همراه مبدل ساخته و با نتایج شبیه سازی عددی آنرا مقایسه نمودند. در مبدل جهت افزایش انتقال حرارت از گلوله‌های سرامیکی استفاده نمودند. در این آزمایش هدف تعیین دمای محفظه احتراق در نقاط مختلف است تا تاثیر نوع فوم، میزان تخلخل و قطر خلل و فرج بر دمای محفظه احتراق را به دست آورده و دلایل رفتار مختلف مشعل را بتوان بر این اساس تعیین نمود.

۲- تئوری

۱-۲ اصول احتراق در محیط متخلخل:

احتراق در محیط متخلخل به عنوان احتراق فیلتر شده نیز شناخته می شود. این احتراق به دو محیط غیر همگن که معمولا یکی جامد و دیگری گاز است وابسته می باشد. مطالعات زیادی بر احتراق در محیط متخلخل صورت گرفته است براساس آزمایشاتی که توسط بابکین^۱ انجام گرفت. توزیع شعله در داخل جسم متخلخل تنها زمانی می تواند صورت گیرد که عدد پکلت^۲ تصحیح شده بزرگتر از ۶۵ باشد. عدد پکلت به صورت مقابل تعریف می شود:

$$Pe = \frac{S_L d_m C_p \rho_f}{\lambda_f} \quad (1)$$

این پارامتر نسبت بین انرژی آزاد شده به علت احتراق در فضای یک سلول (خلل و فرج) به انرژی جذب شده توسط دیواره-های آن سلول را بیان میکند. همچنین باید این موضوع را در نظر گرفت که عدد پکلت بحرانی ذکر شده برای محیط متخلخل سرد است و در صورتی که محیط گرم باشد این مقدار می تواند کوچکتر نیز بشود. بابکین برای عدد پکلت یک محدوده را معرفی می کند.

$$Pe \geq 65 \pm 45 \quad (2)$$

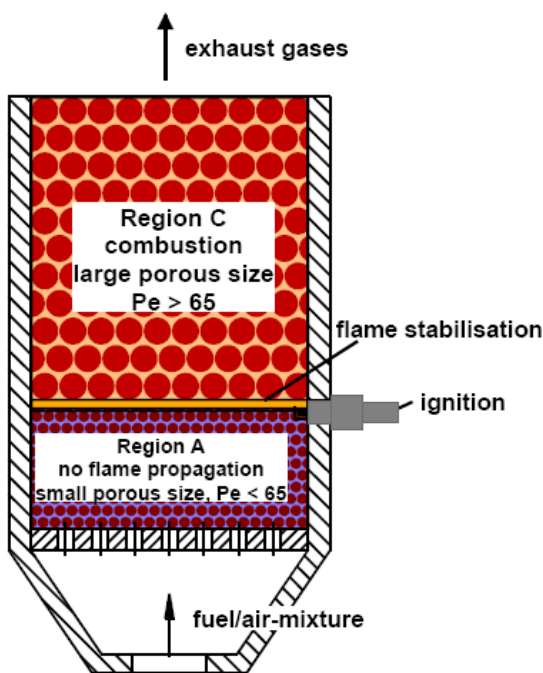
شکل ۱ طرحواره یک مشعل با محفظه احتراق متخلخل را نشان می دهد. همان گونه که در این شکل مشخص است، مشعل دارای دو ناحیه A و C می باشد که هر دو متخلخل هستند. همانطور که ملاحظه می شود قطر سوراخها پس از اتمام ناحیه A، به طور ناگهانی در ناحیه C افزایش می یابد. اختلاف قطر منافذ در دو ناحیه به علت متفاوت بودن وظایف آنهاست. در واقع ناحیه A به عنوان یک پیش گرمکن عمل می کند در حالی که وظیفه ناحیه C عمل احتراق است. به همین دلیل قطر منافذ در ناحیه A به گونه ای انتخاب می شود که عدد پکلت تعریف شده بر حسب قطر سوراخها کوچکتر از ۶۵ ($Pe < 65$) بوده و در نتیجه امکان تشکیل و توزیع شعله در این ناحیه وجود نداشته باشد.

نحوه عملکرد کلی در این مشعلها به این صورت است که ابتدا مخلوط سوخت و هوا که از قبل با هم مخلوط شده اند وارد ناحیه پیش گرمکن A شده و تا دمای اشتعال گرم می شوند. همانطور که قبلا اشاره شد حرارت ناحیه A توسط یک بخش مجزا تامین نمی شود، بلکه حرارت از منطقه احتراق (ناحیه C) توسط مکانیزمهای تابش و هدایت به منطقه A منتقل می گردد. عمل پیش گرمایش موجب کاهش تنشهای حرارتی در پوسته مشعل و قالب متخلخل شده و همچنین باعث افزایش سرعت شعله و در نتیجه پایداری بیشتر شعله می شود.

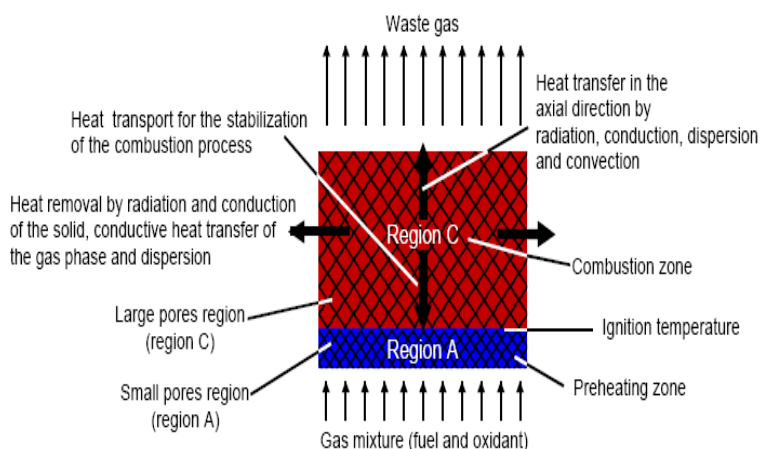
¹ Babkin

² Peclet Number

محفظه احتراق شده و احتراق پس از جرقه های اولیه صورت می گیرد. پایداری منطقه احتراق تابع خواص اجسام متخلخل واقع در نواحی A و C می باشد، خواصی چون میزان تخلخل، ضریب هدایت حرارتی و ضریب صدور و انتقال حرارت در یک مشعل متخلخل توسط هر سه مکانیزم تابش، هدایت و جابجایی انجام می شود، که البته نقش هدایت و تابش به مراتب بیشتر از جابجایی است. شکل ۲ چگونگی انتقال حرارت در داخل یک مشعل متخلخل را بصورت طرحواره ای نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود، حرارت تولید شده در محفظه احتراق از طریق مکانیزم جابجایی به قالب متخلخل منتقل شده و سپس از طریق تابش و هدایت به محیط اطراف انتقال می یابد.



شکل ۱- پایداری احتراق در نواحی مختلف محفظه احتراق [۱]



شکل ۲- مکانیزم انتقال حرارت در یک مشعل متخلخل [۱]

۲-۲ خصوصیات مواد مورد استفاده در مشعلهای متخلخل

در صنعت مشعلهای با محفظه احتراق متخلخل، مواد بسیاری با شکلهای هندسی گوناگون و کارایی های مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. اما کلیه موادی که به کار برده می شوند، بایستی از خصوصیات کلی زیر برخوردار باشند. از آنجایی که دمای محفظه احتراق بسیار بالاست و همچنین احتمال اکسیداسیون در مجاورت هوا نیز بسیار زیاد می باشد، بنابراین جنس به کار رفته به عنوان جسم متخلخل بایستی از مقاومت حرارتی و همچنین مقاومت خوردگی بالایی برخوردار باشد. اجسام متخلخل بایستی دارای خواص خوب انتقال حرارتی مانند ضریب هدایت بالا و ضریب صدور بالا باشند تا دما در محفظه احتراق به صورت یکنواخت توزیع شده و همچنین دمای محفظه احتراق به طور موثری کاهش یابد. سرامیکها از جمله موادی هستند که مقاومت بالایی در مقابل اکسیداسیون و حرارت از خود نشان می دهند. آلومین^۱، کاربید سیلیکون^۲ و اکسید زیرکونیوم^۳ مهمترین سرامیکهایی هستند که در مشعلهای با محفظه احتراق متخلخل کاربرد دارند. عملکرد و خصوصیات کلی در یک جسم متخلخل همواره ترکیبی از ساختار و مواد تشکیل دهنده آن جسم می باشد. جهت انتخاب مناسب اجسام متخلخل برای قسمت های مختلف یک مشعل دانستن ویژگیهای انواع آنها ضروری است. در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مهمترین خواص Al_2O_3 ، SiC [۲]

Property	Dimension	Al_2O_3	SiC
Maximum use temperature in air	°C	1900	1600
Thermal expansion coefficient α (20-1000°C)	10^{-6} 1/K	8	4-5
Thermal conductivity λ at 20°C	W/mK	20-30	80-150
Thermal conductivity λ at 1000°C	W/mK	5-6	20-50
Specific thermal capacity	J/gK	0.9-1	0.7-0.8
Thermal stress resistance parameter, hard shock, R ($\sigma/E\alpha$)	K	100	230
Thermal stress resistance parameter, mild thermal shock, R' ($R \cdot \lambda$)	10^{-3} W/m	3	23
Total emissivity at 2000 K	-	0.28	0.9

فومهای سرامیکی دارای یک معماری سه بعدی بوده که مجموعه ای از پارامترهای ساختاری از جمله توزیع اندازه سلولهای مجوف در سرامیک، باز یا بسته بودن خلل و فرج، ضخامت ماهیچه های تشکیل دهنده ماتریس سرامیک، شکل و طول این ماهیچه ها، نحوه اتصال این ماهیچه ها به یکدیگر و میزان تخلخل در ویژگی ها و خواص آنها تاثیر گذارند. نمونه ای از یک فوم سرامیکی در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳- مشخصات دستگاه و روش آزمایش

¹ Al_2O_3
² C-SiC
³ ZrO_2

مشعل محیط متخلخل ساخته شده دارای بازه راندمان ۲ تا ۵ kW می باشد شکل ۴ طرحواره این مشعل را نشان می دهد. قسمتهای اصلی مشعل شامل مخلوط کن، منطقه پیش گرمایش، منطقه احتراق و ناحیه مبدل می باشد.

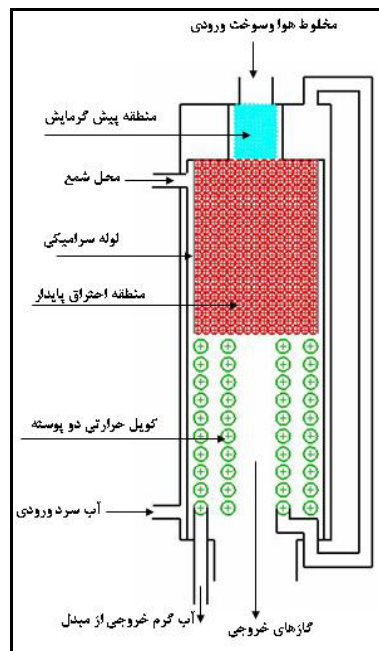
۳-۱ مشخصات مشعل

برای خروج آب چگالش یافته از محصولات خروجی که به صورت مایع در می آید این مشعل به صورت عمودی نصب می شود که جریان سوخت و هوا از بالا وارد و گازهای خروجی از پایین خارج می شود آب نیز از پایین وارد فضای دو پوسته می شود و از بالا خارج می شود و بعد از آن وارد مبدل می شود.



شکل ۳ نمونه ای از فوم سرامیکی مورد استفاده در مشعل

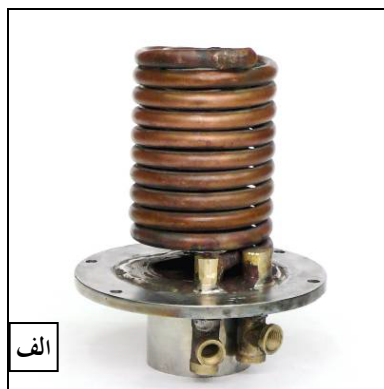
منطقه پیش گرمایش، جهت پیش گرمایش مخلوط سوخت و هوا که تاثیر مهمی در روند احتراق و کارایی مشعل دارد استفاده می شود، عمل پیش گرمایش هم باعث کاهش تنشهای حرارتی در پوسته مشعل و قالب متخلخل شده و هم موجب افزایش سرعت شعله و پایداری بیشتر شعله می شود. منطقه پیش گرمایش به صورت استوانه و با قطر داخلی ۴ سانتیمتر ساخته شد که به طور مستقیم به محفظه احتراق وصل شد. برای پر کردن داخل این قسمت از گلوله های سرامیکی با قطر تقریبی ۵ میلیمتری و از جنس آلومینایی استفاده می شود.

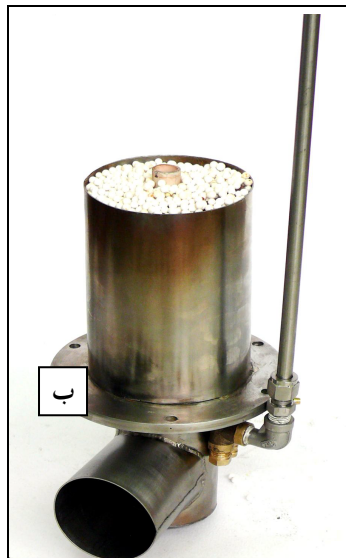


شکل ۴- طرحواره مشعل متخلخل

در منطقه احتراق، احتراق توسط یک شمع صورت می پذیرد. شمع در فاصله ی ۱ سانتیمتری از بالای این منطقه نصب می شود. این ناحیه به صورت استوانه ای شکل است. در داخل این ناحیه یک لوله استیل نسوز به طول ۱۱ cm و ضخامت ۳ mm که تحمل حرارت این لوله 1200°C است قرار داده می شود. جهت عایق نمودن این لوله بدنه داخلی آن با کاغذهای نسوز از جنس الومینا با ضخامت 2mm که تحمل حرارت 1260°C را دارند پوشیده میشود تا از انتقال حرارت به بدنه تا حد امکان جلوگیری نماید.

در آخرین قسمت ناحیه مبدل حرارتی قرار گرفته است. آب خروجی از انتهای مشعل در انتهای مشعل وارد مبدل حرارتی می شود (شکل ۳). مبدل حرارتی یک کویل دو راهه است که جنس لوله های آن از مس می باشد. به منظور افزایش انتقال حرارت بین گازهای احتراقی و مبدل حرارتی لازم است فضای درون و اطراف کویل را به وسیله گلوله های سرامیکی پر کرد، بدین لحاظ پوسته ای استوانه ای به قطر داخل ۱۰ cm اطراف کویل مطابق شکل ۵ قرار داده می شود.





شکل ۵ الف) مبدل حرارتی ب) اضافه نمودن گلوله‌های سرامیکی به مبدل

۲-۳ اندازه گیری دما در محفظه احتراق

به دلیل بالا بودن دمای محفظه احتراق (بالای ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد) از ترموکوپل نوع R جهت اندازه گیری دما در طول محفظه احتراق استفاده می شود. به این صورت که سوراخی به قطر ۱ سانتی متر در مرکز فیلترهای سرامیکی توسط مته الماسه ایجاد می شود سپس سیمهای ترموکوپل در یک لوله سرامیکی از جنس آلسینت، قرار داده می شود. این لوله از انتهای مشعل وارد محفظه احتراق می شود و در طول زمان کارکرد مشعل توزیع دما در طول محفظه را به دست می دهد. لازم به ذکر است که این ترموکوپل بر روی یک جک سوار شده است و به وسیله این جک در طول محفظه احتراق بالا و پایین می شود و بدین ترتیب دمای سرتاسر طول در روی خط مرکزی مشعل قابل اندازه گیری می گردد.

جدول ۲- مواد مورد استفاده در مشعل

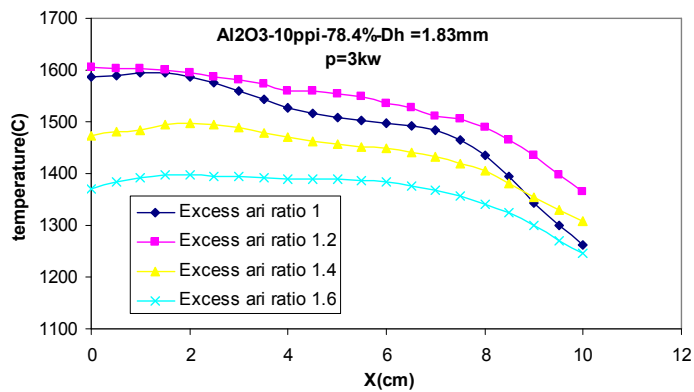
	Foam's material	ppi	porosity	Hydraulic pore diameter
۱	Al ₂ O ₃	10	0.802	2.54
۲	Al ₂ O ₃	20	0.774	1.34
۳	Al ₂ O ₃	30	0.795	0.88
۴	Al ₂ O ₃	10	.784	1.84
۵	Al ₂ O ₃	20	0.752	1.46
۶	SiC	10	0.769	2.38
۷	SiC	20	0.757	1.55
۸	SiC	30	0.770	1.08

فومهای سرامیکی استفاده شده در این آزمایش در جدول ۲ آورده شده‌اند. این فومها دارای تعداد حفره متفاوت با اندازه قطر خلل و فرج مختلف هستند. تعداد حفره‌ها در هر اینچ از ۱۰ تا ۳۰ عدد تغییر می‌کنند. همچنین میزان تخلخل نیز در آنها

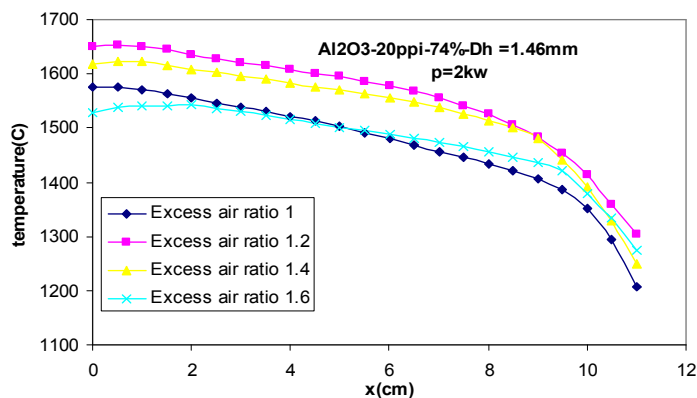
متفاوت بوده بطوریکه از ۷۴٪ تا ۸۰٪ تغییر می‌کنند. فوم‌های استفاده شده از جنس‌های آلومینایی و سیلیکون کاربایدی هستند.

۴- نتایج:

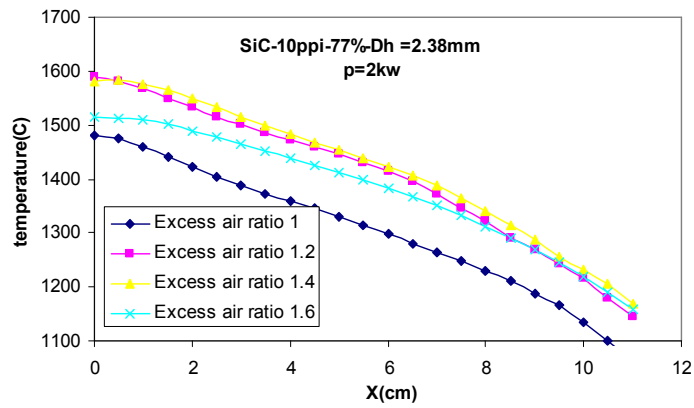
جهت بررسی دمای محفظه احتراق مشعل فوق در توانهای ۳ و ۲ kW و با فوم‌های سرامیکی مختلف آزمایش شده است. هر نوع فوم در مقادیر هوای اضافه مختلف آزمایش شده است و دمای محفظه احتراق در آن ثبت گردیده است.



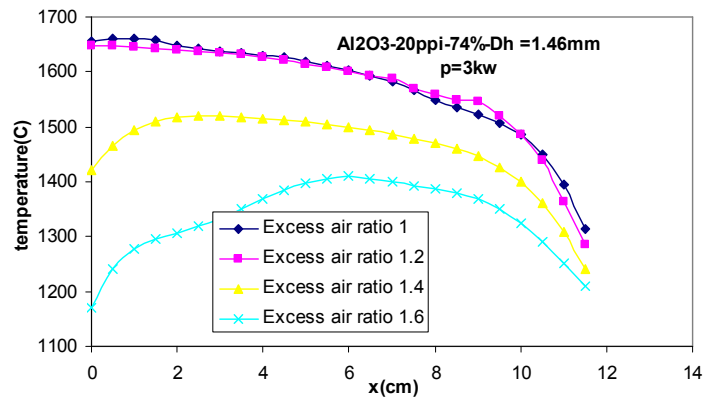
(الف)



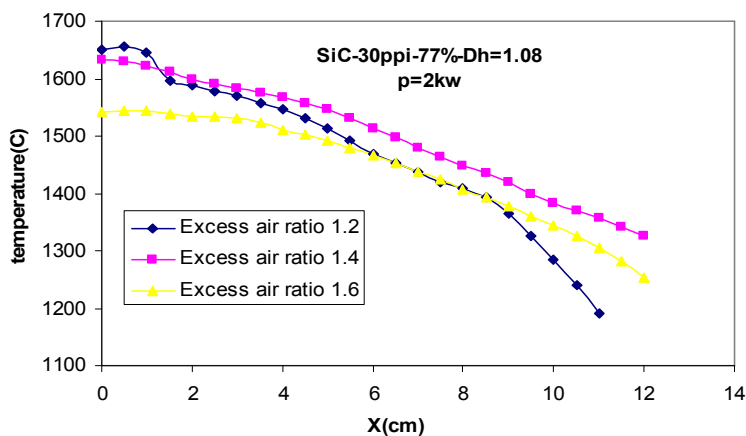
(ب)



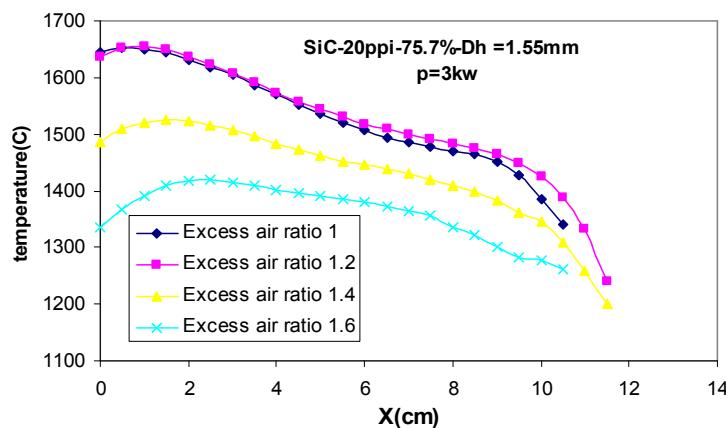
(C)



(C)



(ب)



(ج)

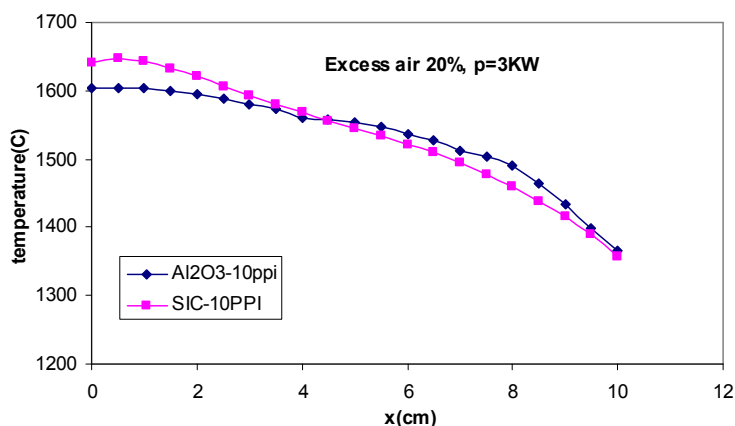
شکل ۶- الف) تا ج) دمای محفظه احتراق برای چند نوع فوم سرامیکی

همانطور که در شکل ۶ مشخص است، در توان 2 kW و در حالت استوکیومتری احتراق در ناحیه پیش گرمایش رخ می دهد. با افزایش میزان هوای اضافه جعبه شعله به سمت ناحیه احتراق پیش می رود با افزایش میزان هوای اضافه همانطور که کل نمودارها نشان می دهند ماکزیمم دما کاهش می یابد. همچنین در نمودارها مشخص است ماکزیمم دما در حالت استوکیومتری اتفاق نمی افتد و معمولاً این مقدار حداکثر دما در حالت ۲۰ درصد هوای اضافه اتفاق می افتد دلیل این است که سوخت ورودی در حالت استوکیومتری احتراق کامل ندارد. در بعضی حالات مشخص است که مقدار حداکثر دما در حالت ۴۰ درصد هوای اضافه رخ می دهد.

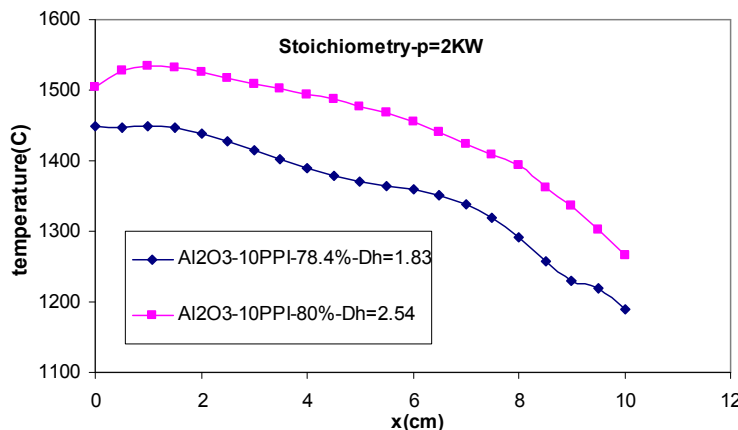
در نواحی نزدیک به مبدل حرارتی شیب نمودارها زیاد می شوند و دمای ناحیه متخلخل به سرعت روبه کاهش می رود در بین نمودارها با مقادیر مختلف هوای اضافه نمودار مربوط به احتراق در حالت استوکیومتری بیشترین کاهش شیب را دارد که دلیل آن می توان به کمتر بودن انرژی تولیدی در این حالت اشاره نمود. بعد از حالت استوکیومتری حالت هوای اضافه ۲۰ و ۴۰ درصد بیشترین شیب را به سمت کاهش دما دارند که دلیل آن افزایش میزان انتقال حرارت به علت بالاتر بودن دمای محفظه احتراق در این حالات است.

۴-۱ اثر جنس فوم بر دمای محفظه احتراق

با مقایسه بین جنس مورد استفاده، (شکل ۷) می توان به شدت کاهش شیب دما در حالت استفاده از فوم های سیلیکون کاربایدی اشاره کرد که در قیاس با فوم های آلومینایی دارای شیب زیادتری در جهت کاهش دمای محفظه احتراق هستند که دلیل این نیز بیشتر بودن ضریب تشعشع در فوم سیلیکون کاربایدی است که منجر به کاهش بیشتر دمای محفظه احتراق می شود.



شکل ۷- مقایسه دمای محفظه احتراق برای فوم های سیلیکون کاربایدی و آلومینایی ۱۰ ppi



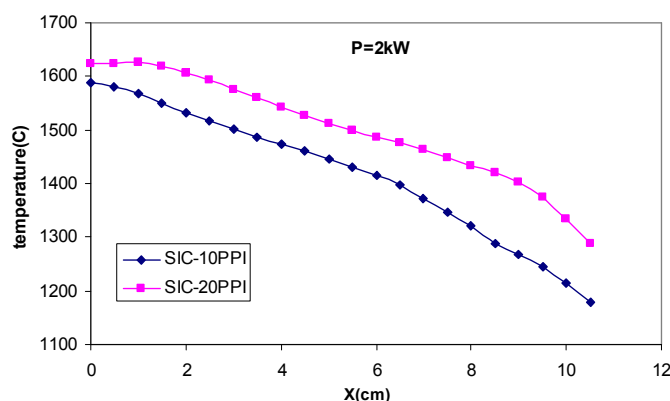
شکل ۸- مقایسه دمای محفظه احتراق برای فوم های آلومینایی ۱۰ ppi با میزان تخلخل متفاوت

۴-۲ اثر میزان تخلخل بر دمای محفظه احتراق

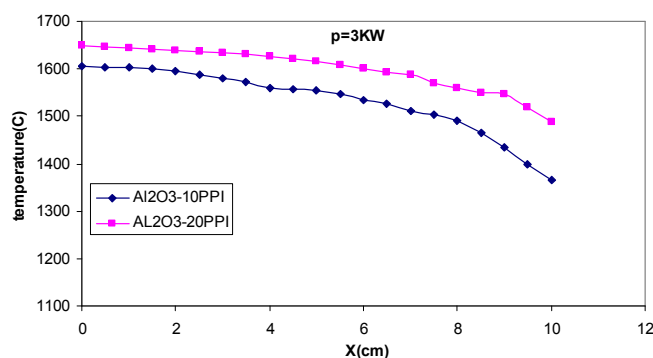
در شکل ۸ با مقایسه دو فوم آلومینایی که هر دو ۱۰ ppi و دارای میزان تخلخل و قطر خلل و فرج متفاوت هستند مشاهده می شود که در فوم با تخلخل و قطر خلل و فرج بزرگتر دمای احتراق در حالت استوکیومتری بالاتر می باشد که این نشان دهنده کامل تر بودن احتراق در قیاس با فوم با تخلخل کمتر است که در حالت استوکیومتری احتراقی ناقص دارد.

۳-۴ اثر تعداد خلل و فرج بر دمای محفظه احتراق

با مقایسه فوم‌های یک جنس ولی دارای تعداد خلل و فرج مختلف (شکل ۹ و ۱۰) می‌توان نتیجه گرفت با افزایش تعداد خلل و فرج که منجر به ریزتر شدن قطر حفره‌ها می‌شود دمای محفظه احتراق بالاتر می‌رود که دلیل این امر افزایش میزان هدایت حرارتی در فوم‌ها با میزان خلل و فرج بیشتر و ریزتر که باعث می‌شود که ناحیه احتراق دارای احتراق کامل‌تر باشد و همچنین سطح انرژی آزاد شده به علت بالاتر بودن انرژی منتقل شده به بالادست جریان بیشتر می‌شود.



شکل ۹- مقایسه دمای محفظه احتراق برای فوم‌های سیلیکون کاربایدی با چگالی حفره (ppi) متفاوت



شکل ۱۰- مقایسه دمای محفظه احتراق برای فوم‌های سیلیکون کاربایدی با چگالی حفره (ppi) متفاوت

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی با استفاده از یک مشعل محیط متخلخل به توان ۵ kW به بررسی اثر جنس و ساختار فوم‌های سرامیکی بر روی دمای محفظه احتراق پرداخته شده است. مشعل مورد نظر دارای ۴ قسمت اصلی مخلوط کن، پیش گرمایش،

احتراق و میل حرارتی است. جهت افزایش انتقال حرارت در مبدل از گلوله های سرامیکی استفاده شده است. مواد مورد استفاده در بستر و در ناحیه احتراق، فوم های سرامیکی آلومینایی و سیلیکون کاربیدی است. در توان ۲ kW و در حالت استوکیومتری احتراق در ناحیه پیش گرمایش رخ می دهد. با افزایش میزان هوای اضافه جبهه شعله به سمت ناحیه احتراق پیش می رود و ماکزیمم دما ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا میکند. ماکزیمم دمای احتراق در حالت استوکیومتری رخ نمیدهد چون در این حالت احتراق کامل نیست. با افزایش تعداد خلل و فرج که منجر به ریزتر شدن قطر حفره ها میشود دمای محفظه احتراق بالاتر میرود. با کاهش میزان تخلخل جبهه شعله به سمت پایین دست حرکت کرده و همچنین احتراق به سمت ناقص تر شدن پیش میرود فوم های سیلیکونی در ابتدای ناحیه تشکیل شعله دمای بالاتری دارند ولی کاهش دما در حالت استفاده از فوم های سیلیکون کاربیدی در قیاس با فوم های آلومینایی بیشتر است.

فومهای آلومینایی

قدردانی و تشکر

تحقیق انجام شده با حمایت مادی و معنوی شرکت بهینه سازی انرژی انجام پذیرفته است.

مراجع

- [1] Trimis, D., Durst, F., Picknacker, O. and Picknacker, K., "Porous Medium Combustor Versus Combustion Systems with Free Flames", University Erlangen Nuremberg, Germany, 2002.
- [2] Mobbauer S., Pickenacker O., Pickenacker K. and Trimis D. "Application of the Porous Burner Technology in Energy-and Heat-Engineering", 1999.
- [3] M. Abdul Mujeebu, M.Z. Abdullah, M.Z. Abu Bakar, A.A. Mohamad, R.M.N. Muhad, M.K. Abdullah, 'Combustion in porous media and its applications', Journal of Environmental Management 90-pp2287-2312-october 2009
- [4] Babkin V.S., Korzhavin A.A. and Bunev V.A. "Propagation of Premixed Gaseous Explosion flame in porous media" Combustion and Flame, V 87, pp 182-190, 1990
- [5] Michael Scheffler, Paolo Colombo; Cellular Ceramics; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005
- [6] Masoud Kaviany; principle of heat transfer in porous media, second edition; Springer, 2000
- [7] Clifford K. Ho, Stephen W. Webb; Gas Transport in Porous Media; Springer 2005
- [8] Kambiz Vafai; Handbook of porous media, second edition; Taylor and Francis; 2005
- [9] Donald. A. Nield, Adrian Bejan; Convection in Porous Media; Third Edition; Springer, 2005
- [10] Maxime Lacroix, Patrick Nguyenb, Daniel Schweichc, Cuong Pham Huua, Sabine Savin-Poncetd, David Edouarda, 'Pressure drop measurements and modeling on SiC foams', Chemical Engineering Science 62 ,pp 3259 – 3267, March 2007
- [11] N. Dukhan 'Correlations for the pressure drop for flow through metal foam' Exp Fluids 41:665-672, July 2006
- [12] Soete G. De. "Stability and Propagation of Combustion Wave in Porous Media" On combustion, pp 959-966, 1966.
- [13] Takeno T., Sato K. and Hase K. "Effects of Solid Length and Heat Loss on an Excess Enthalpy Flame" Combust. Sci. and Tech, 31, pp 207, 1983.
- [14] Hashimoto T., Yamakaki S. and Takeno T. "An Excess Enthalpy Flame Stabilized in Ceramic Tubes", Progress in Astro and Aero, 88, pp 57-77, 1983.
- [15] Kotani Y. and Takeno T. "An Experimental Study on Stability and Combustion Characteristics of an Excess Enthalpy Flame" The Nineteenth symposium on combustion, PP 277-287, 1989.



FCCI2010-1172

سومین کنفرانس سوخت و احتراق ایران

تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی هوافضا

- [16] Trimis D., Wawrzinek K., Hatzfeld O., Lucka K., Rutsche A., Haase F., Krooger K., Kuchen C. "High Modulation Burner for Liquid Fuels Based on Porous Media Combustion and Cool Flame Vaporization" University Erlangen Nuremberg, Germany, 2002.
- [17] Kotani, H. Behbehani F., and Takeno. "An Excess Enthalpy Flame Combustor for Extended Flow Ranges" The Twentieth Sym on combustion, pp 2025-2033, The Combustion Institute, 1984.
- [18] Fox J.S. "Burners producing large excess enthalpies". Combust.Sci. and Tech, 12,pp 147-151,1976.
- [19] Hardesty D.R. and Weinberg F.J. "Converter Efficiency in Burner Systems Producing Large Excess Enthalpies". Combust.Sci. and Tech, 12,pp 153-157,1987.
- [20] Weinberg F.J. "Combustion temperatures: the future Nature", 233, 239.
- [21] Korzhavin A.A., Bunev V.A., Abdullin R.Kh. and Babkin V.S. "Flame Zone in Gas Combustion in an Inert Porous Media" Combustion Explosion and Shock Waves USSR, V 18, PP 628-631, 1982.
- [22] Chafin C., Koenig M., Koeroghlian M, Matthews R.D., Hall M.J, Nichol S.P. and Lim I.G. "Experimental Investigation of Premixed Combustion Within Highly Porous Media" Proceeding ASME/JSME Thermal Engineering joint conf. ,4, pp 219-224,1991.
- [23] Howell J.R., Hall H.J. and Ellzey J.L. "Combustion of Hydrocarbon Fuels Within Porous Inert Media" Energy Combust. Sci, V 22,PP 121-145,1996
- [24] Durst F. and Trimis D. "Combustion in Porous Medium-Advances and Applications. Combust.Sci. and Tech", V 121,pp 153-168,1996.
- [25] Hsu P.F., Evans D., Howell J.R. "Experimental and Numerical Study of Premixed Combustion within Nonhomogenous Porous Ceramics" Combust.Sci. and Tech, 90,pp 149-172,1993.
- [26] Khanna V., Goel R. and Ellzey J.L. "Measurements of Emissions and Radiation for Methane Combustion with in a Porous Medium Burner" Combust.Sci. and Tech, V99,pp 133 -142,1994.
- [27] Matthew T. Smucker and Ellzey J.L. "Computational and Experimental Study of A two-Section Porous Burner" Combust.Sci. and Tech, 176,1171-1189,2004.