Archive of SID

چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Koureh.ir تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶

بررسی مزیت های انواع راکتورهای هم جوشی هسته ای در صنایع

رضا چراغی کوتیانی[۱] ، محمد حسین باغبانیان[۲], حسن چراغی کوتیانی[۳]
[۱]دانشگاه تکنولوژی مالزی، دانشکده مهندسی نفت (Email: rchi1986@gmail.com)
[2]دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده مهندسی مکانیک(Email: m.h.baghbanian56@gmail.com)
[3]منطقه آزاد اروند (Email: hchk_iran@yahoo.com)

چکیده

هم اکنون هم جوشی هسته ای به صورت تجاری تنهابه عنوان آرزوی برای آینده بشمارمی آید . یک راکتور هم جوشی ایده آل راکتوریست که در آن از واکنش های زنجیره ای بهره مند باشیم و در واقع هدف اساسی در راه ساخت راکتور هم جوشی هسته ای، زنجیره ای کردن آن است. زیرا اگر قرار باشد ما در این راه مقداری انرژی صرف کنیم وبه یک مقدار کمتر از آن دست یابیم مطمئناً این واکنش نه زنجیره ای است و نه مفید . دانشمندان این رشته مفهومی به نام گیرانش را بدین صورت تعریف کرده اند که مقدار انرژی بدست آمده ازواکنش بیشترازانرژی مصرف شده باشد ، پس در شر ایط گیرانش واکنش زنجیره ای می شود . یعنی نه تنها انرژی تولیدی یک واکنش برای انجام واکنش بعد کافیست ، بلکه مقدار زیادی از آن هم اضافه است، و می تواند در اختیار ما برای تولید برق قرار بگیرد.دراین مقاله ابتدا به عنوان مزیتهای هم جوشی هسته ای نسبت به شکافت هسته ای می پردازیم سپس انواع راکتورهای هم جوشی هسته را ازجمله راکتورهای توکاماک، اسفرومک و... و روش های مختلف همجوشی هسته ای رامورد بررسی قرارمی دهیم درپایان نتایج حاصل رابیان می نماییم.

کلمات کلیدی: پلاسما، راکتور ،شکاف هسته ای،هم جوشی هسته ای

www.Koureh.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱ -مقدمه

در دهه 1990 پیشرفت های شایان ذکری در فن آوری هم جوشی هسته ای حاصل شده است. در واقع هدف اساسی در راه ساخت راکتور هم جوشی هسته ای زنجیره ای کردن آن است . اگر قرار باشد ما در این راه انرژی صرف کنیم تا یک مقدار کمتر از آن بدست آوریم مطمئناً این واکنش نه زنجیره ای است و نه مفید . دانشمندان این رشته مفهومی به نام گیرانش را تعریف کرده اند که به معنای این است که مقداری انرژی صرف شروع واکنش کنیم و انرژی بیشتر از سلسله واکنش بگیریم ، در واقع در شرایط گیرانش واکنش زنجیره ای می شود . یعنی نه تنها انرژی تولیدی یک واکنش برای انجام واکنش بعد کافیست ، بلکه مقدار زیادی از آن هم اضافه است . و می تواند در اختیار ما برای تولید برق قرار بگیرد . برای نمونه در سال 1991مقدار قابل توجهی انرژی در چنبره آزمایشگاه اروپا(JET) از طریق هم جوشی کنترل شده تولید شد . توان تولید شده در این آزمایش حدودا ۷٫۱ MW بود ولی در این آزمایش نیز مقداری انرژی تولید شده از مقدار و انرژی مصرفی بیشتر نبود . در دسامبر 1993 نیز محققین در دانشگاه پرنیستون از راکتور آزمایشی توکاماک برای تولید انرژی هم جوشی کنترل شده با تو ان خروجی ۶/۵ MW استفاده کردند اما انرژی حاصل از این عملیات نیز از انرژی مصرف شده در طی آزمایش تجاوز نکرد در زمینه هم جوشی با لیزر نیز پیشرفت هایی حاصل شده که از آن جمله ساخت لیزرهای با توان های بالاتر است .امروزه در ایالات متحده ، اروپا و ژاپن تحقیقات دامنه داری در زمینه هم جوشی حجمی در میدان لختی در حال انجام است یکی از این برنامه ها پروژه لیزر نوا (NOVA) می باشد که قوی ترین لیزر حال حاضر جهان محسوب می شود . طرح آزمایشگاه ملی N.I.F در لیور مور کالیفرنیا ، از عظیم ترین طرح های تحقیقی در زمینه هم جوشی هسته ای با لیزر است که دانشمندان به موفقیت آن بسیار امیدوارند . هدف عمده از ساخت این آزمایشگاه طراحی لیزری با انرژی 8.1 MG و توان 10*5 W می باشد که با طول موج 351 nm کار می کند.

۲- مزیت هم جوشی هسته ای نسبت به شکافت هسته ای

ازجمله این مزایامی توان به مواردزیراشاره نمود:

الف -منابع سوخت آن بسیار فراوان است . به عنوان مثال دوتریوم حدود۰٫۱۵۳ درصد اتمی از هیدروژنهای آب اقیانوس ها راتشکیل می دهد تریتیوم نیز در فرآیند جذب نوترون توسط لیتیوم قابل تولید است.

ب -به ازاء هر نوکلئون از ماده سوخت ، انرژی تولیدی نسبت به روش شکافت بیشتر است.

ج -معضل پسمانده های هسته ای را ندارد.

د -اینکه در هنگام وقوع حوادث احتمالی ، راکتور هم جوشی از کنترل خارج نمی شود. بعنوان مثالی از انرژی تولیدی در یک راکتور هم جوشی می توان گفت اگر یک گالن از آب دریا را که دارای مقدار کافی دوتریم است در واکنش هم جوشی استفاده کنیم معادل 300 گالن گازوئیل انرژی بدون آلودگی تولید می کند.

www.SID.ir

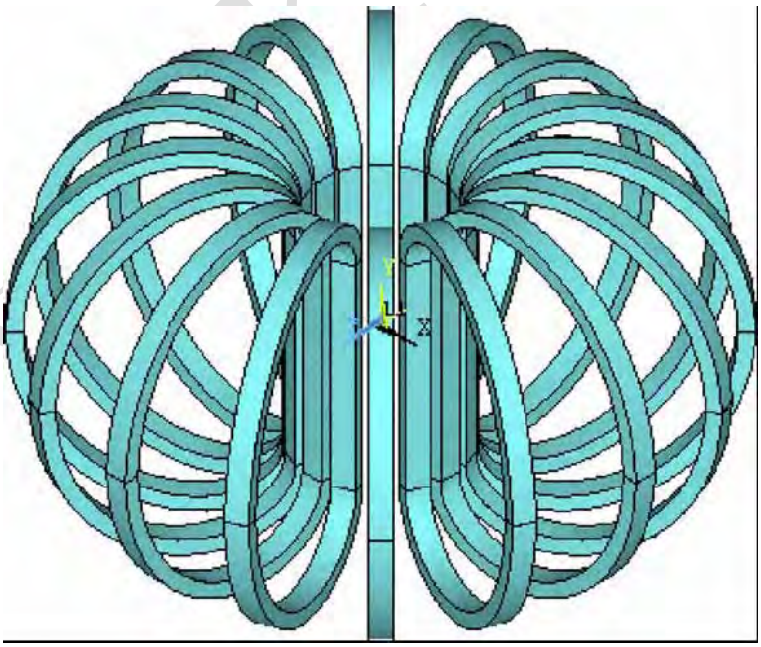
Archive of SID

۳- راکتورهای هم جوشی هسته ای

۳-۱ توکاماک

یکی از انواع راکتورهای هم جوشی هسته ایست که محصور سازی را به خوبی انجام می دهد . طرح توکاماک در دهه 50 میلادی توسط روس ها پیشنهاد شد . کلمه توکاماک از Toroidalnaya kamera and magmxnaya به معنی اتاقک مغناطیسی چنبره ای گرفته شده است.

یکی از دلایل و توجیهاتی که برای چنبره ای بودن محفظه های محصورسازی می توان بیان نمود این است که : توپ پرمویی را تصور کنید که شما قصد دارید موهای این توپ را شانه بزنید . شما هر طور و از هر طرف که بخواهید این کار را بکنید همیشه دو طرف از موهای توپ شانه نشده و نامنظم باقی می ماند . حال به جای توپ فرض کنید که یک کره مغناطیسی داریم . می خواهیم که بردارهای میدان در سراسر اطراف این کره یکنواخت و منظم باشند در واقع همه در یک جهت باشند . بنابه مثال این کار غیر ممکن بوده و نامنظمی در دو طرف کره باعث عدم پایداری محصور سازی می شود .ولی در یک محصور سازی چنبره ای مانندشکل (1) چنین مشکلی وجود ندارد و یکنواختی میدان سراسر محصور ساز توکاماک باعث پایداری آن می شود . مهم ترین و حیاتی ترین وظیفه یک ابزار هم جوشی پایدار رنگ داشتن پلاسما است.



www.SID.ir

Archive of SID

شکل(1): سیم پیچ ابر رسانا درمیدانهای چنبره ای

۲-۳ اسفرومک

اسفرومک نوع دیگری از راکتورهای هم جوشی هسته ای است که بر خلاف توکاماک که چنبره ای است ، شکلی کروی دارد . البته تفاوت اسفرومک باتوکاماک در این است که در مرکز اسفرومک هیچ جسم مادی وجود ندارد اسفرومک متأسفانه با بی محوری مواجه شد و به اندازه توکاماک مورد توجه واقع نشد . در حالی که اسفرومک مدت زیادی بعد از توکاماک اختراع شد .در دهه گذشته اغلب تحقیقات در بخش انرژی هم جوشی مغناطیسی روی توکاماک چنبره ای شکل برای رسیدن به واکنش های هم جوشی در سطح بالا متمرکز شده است.

3 - 3کارکرد توکامک واسفرومک

کار توکاماک در ایالات متحده و خارج آن ادامه دارد . ولی سازمان دانشمندان انرژی هم جوشی در حال بازدید از اسفرومک هستند . قسمت زیادی از علاقه تجدید شده به پروژه اسفرومک روی تحقیقات فعالی در لاورنس لیور مورد و گروهی به نام SSPX (Sustwned Spheromut Physics Experimental)متمرکز شده است. SSPXدر 14 ژوئن 1999 در مراسمی با حضور نماینده ای از doe با همکاری دانشمندانی از sandia و آزمایشگاه ملی لس آلاموس آغاز به کار کرد. SSPX یک سری از آزمایشات است که برای این طراحی شده که توانایی اسفرومک را در این مورد که اسفرومک چقدر این کیفیت را داراست که پلاسماهای داغ سوخت هم جوشی را درون خود داشته باشد

به عقیده و رهبر پروژه SSPX آقای David Hill توکامک با دمای بالایی که در آن قابل دسترسی است بیشتر از 100 میلیون درجه سلسیوس که بارها بیشتر از دمای مرکز خورشید است فعلاً برنده جریان رهبری پروژه های هم جوشی به حساب می آید. با این حال میدان های مغناطیسی توکاماک بوسیله کویل (سیم پیچ) های بیرونی بسیار بزرگ که چنبره راکتور را کاملاً احاطه می کنند تولید می شوند . این کویل های بسیار بزرگ هزینه بسیار زیاد و بی نظمی و اختلالاتی در کار راکتور خواهند داشت در حالی که اسفرومک ها پلاسمای بسیار داغ را در یک سیستم میدان مغناطیسی ساده و فشرده که فقط از یک سری ساده کویل های کوچک پایدار کننده استفاده می کنند بوجود می آورد . میدانهای مغناطیسی قوی لازم درون پلاسما با چیزی که دینام مغناطیسی نامیده می شود تولید می شوند.

۴- انرژی ده کردن

همانطورکه گفته شد در واقع در شرایط گیرانش واکنش زنجیره ای می شود . یعنی نه تنها انرژی تولیدی یک واکنش برای انجام واکنش بعد کافیست ، بلکه مقدار زیادی از آن هم اضافه است . و می تواند در اختیار ما برای تولید برق قرار بگیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

اگر بخواهیم توکاماک یا هر وسیله دیگر که هم جوشی در آن انجام می شود توان مفید داشته باشد ، یعنی به ما انرژی بدهد باید شرایط خاصی داشته باشد . برای آنکه احتمال برخورد ذرات (یدنما) نامزد هم جوشی بالا برود ، اولاً باید دمای خیلی بالایی درون آن تولید بشود و راکتور هم بتواند به خوبی دمای بالا را تحمل کند . این دما در محدوده ده به توان هفت درجه کلوین می باشد دوما راکتور باید این توانایی را داشته باشد که درونش چگالی زیادی از یونها را وارد کرد و سوما اینکه زمان محصور سازی د ر آن طولانی باشد . دمای بالا برای آن است که بتوانیم تقریباً مطمئن باشیم که می توانیم از سد محکم پتانسیل کولنی هسته ها بگذریم . چگالی زیاد هم برای این است که هر چه بیشتر احتمال برخورد های کار را بالا برود در این مسیر قانونی وجود دارد که نام آن معیار لاوسون است به کمک این معیار می شود محاسبه کرد که آیا شرایط طوری هست که واکنش به گیرانش برسد یا نه . معیار لاوسون باید مقدار چگالی در مدت زمان محصور سازی ، ده به توان 20 ذره در متر مکعب باشد تا این واکنش به گیرانش برسد البته بستگی مستقیم با دمای پلاسما دارد.

۱-۴ رسیدن به شرایط مطلوب

برای رسیدن به شرایط مطلوب در واکنش های گرما هسته ای که در آن ها از سوخت دوتریم – تریتم استفاده می شود دمای پلاسما (t) باید در محدوده یک ای سه ضرب در ده به توان هشت درجه کلوین و زمان محصور سازی (t_e) باید یک ای سه ثانیه و چگالی (n) باید حوالی یکه ای سه ضرب در ده به توان بیست ذره برمتر مکعب باشد . برای آغاز به کار راکتور یعنی برای رسیدن به کمینه دمای حدود 108 کلوین باید از وسیله گرما ساز کمک استفاده کرد. بعد از محترق شدن سوخت مخلوط پلاسما با ذرات آلفایی که در اثر احتراق اولیه بوجود آمده اند گرم شده و می توانیم دستگاه کمکی را از مدار خارج کنیم . از آن به بعد سرعت فعالیت های هم جوشی با افز ایش دادن چگالی پلاسما افزایش پیدا می کند . با این وجود افزایش چگالی به بالای هر زمان تعیین شده و مطمئناً به معنی بهم خوردن پایداری پلاسما و یا اینکه خاموش شدن راکتور را در پی خواهد داشت یا فاجعه . به عبارت دیگر در صورت افزایش چگالی پلاسما برای پایدار کردن پلاسما زمان محصور سازی و دمای احتراق و صد البته حجم پلاسما و نقطه پایداری پلاسما با افزایش چگالی بالاتر رفته و شرایط را برای کار سخت تر می کند . به حالت تعادل درآوردن این مستلزمات با شکل بندی راکتور در کوچکترین اسپکت ریتو که به شکل بندی مغناطیسی آن بستگی دارد مقدور می شود.

۵- روشهای همجوشی

برای بهینه سازی کار راکتورهای همجوشی و افزایش توان خروجی آنها راه های متعددی وجود دارد . یکی از این راه ها انتخاب نوع واکنشی است که قرار است در راکتور انجام شود.

۱-۵ روش ترکیب هسته های سبک وتولیدهسته سنگین

www.SID.ir

Archive of SID

واکنش زیر نوعی از واکنش هم جوشی بصورتی است که در آن دو هسته سبک با یکدیگر واکنش داده و یک هسته سنگین تر را بوجود می آورند . یعنی حاصل ترکیب دو هسته دوتریم و تولید یک هسته تریتیم به علاوه یک هسته هیدروژن معمولی است این واکنش انرژی ده می باشد. چون تفاوت انرژی بستگی هسته سنگین تر و هسته های سبک تر مقداری منفی است .

در این واکنش مقدار انرژی تولیدی برابر 4 Mev می باشد. قبلاً گفته شد که باید برای انجام همجوشی هسته ها به اندازه کافی بهم نزدیک بشوند . این مقدار کافی حدوداً 3fm می باشد . چون در این فاصله ها انرژی پتانسیل 5% Mev هست پس می توانیم با این مقدار انرژی دادن به یکی از دوترو نمادانه کولنی بین دوترونها را شکسته و واکنش را شروع کنیم که بعد از انجام مقدار 4.5 Mevتولید می شود همانطور که می بینید بهترین گزینه واکنش دوم می باشد.

می توانیم راکتور خود را طوری طراحی کنیم که دور دیواره آن لیتیم مایع تحت فشار جریان داشته باشد .این لیتیم مایع گرمای تولیدی اضافی را از واکنش گرفته و به آب منتقل می کند و با تبدیل آن به بخار باعث می شود که توربین و ژنراتور به حرکت درآیند و برق تولید شود اما چرا لیتیم استفاده می کنیم ؟ قبلاً دیدیم که مقرون به صرفه ترین واکنش در راکتور هم جوشی واکنش دوتریم – تریتیم است .در این واکنش دیدیم که یک نوترون پر انرژی تولید می شد .این مسأله یعنی نوترون زایی می تواند بسبب تضعیف بخش هایی از راکتور شود . از طرفی برای محیط زیست و مخصوصاً سلامتی کسانی که در اطراف راکتور فعالیت می کنند بسیار مضر است . اما اگر لیتیم را بعنوان خنک کننده داشته باشیم این جریان لیتیم همچنین نقش مهم کند کنندگی را بازی خواهد کرد . به این صورت که با نوترون اضافی تولید شده در واکنش ترکیب شده و سوخت گران قیمت و کمیاب راکتور که همان تریتیم است تولید می کند . واکنش دقیق آن به شکل زیر است . البته در این مورد باید ضخامت لیتیم مایع در جریان حداقل یک متر باشد.

2-5هم جوشی با لیزر

یکی از روش هایی که با وجود مشکلات عظیم فنی محصور کردن مغناطیسی پلاسما ، دورنمایی بسیار امید بخش را در زمینه تولید انرژی کنترل شده از طریق هم جوشی هسته ای ارائه می دهد ، همجوشی با لیزر است . در این روش از هم جوشی که جوش در میدان الیزسی یا ICF نیز نامیده می شود ، مشکل متراکم نمودن سوخت ، با تابشی اشعه لیزر و یا پرتابه یونی به ساچمه سوخت هسته ای مرتفع می گردد . اساساً چگونگی جوش را در این روش می توان به دو مدل مختلف تقسیم نمود . در مدل اول که به نام گداخت جرقه ای مرکزی مرسوم است ، تراکم ساچمه وسط موج های ضربی با اشتغال لایه ی بیرونی و ایجاد پلاسما در شعاع بسیار کوچکی با چگالی 1000 تا10000 برابر چگالی حالت جامد ، منجر به دمای کافی برای گداخت می گردد .طی مدت انفجار ، پلاسما تا حدی در اثر لختی خود محصور می شود . لایه بیرونی پلاسما مستقیماً در گداخت شرکت ندارند ، اما لختی آنها ، هسته گلوله را به مدت کافی پایدار نگه می دارد تا واکنش پیش برود . بدین ترتیب جوش و گداخت ابتدایی از ناحیه مرکزی ساچمه به صورت موج منتشر شده و باعث توسعه جوش در نواحی دیگر ساچمه می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل دوم فشردگی یکنواخت ، در روی ساچمه ی سوختی یا فشردگی حجمی است . در این مدل ، فشردگی همراه با داغ شدن ساچمه منجر به واکنش گرما هسته ای در تمام حجم ساچمه می گردد . آزمایش های جوش هسته ای در سال های اخیر در ژاپن با ماکزیمم بهره نوترونی منجربه تقویت تئوری گداخت جمعی نسبت به فرآیند گداخت جرقه ای گردیده است . محاسبات گداخت حجمی در میدان لختی (ICF) از سال 1976 بهره انرژی آزاد شده قابل ملاحظه ای را برای ساچمه های سوختی نشان می دهند. این افزایش به علت خود گرم شدن پلاسما توسط ذرات بارداری است که محصول واکنش های جوش هستند . این پدیده خود گرم شدگی پلاسما اولین جلد در سال 1978 معرفی شد . براساس شبیه سازی های کامپیوتری ، اگر دمای اولیه پلاسما اندکی کمتر از مقدار بحرانی و درحدود KEV باشد ،کاهش پیوسته دما با گذشت زمان مشاهده می شود و در نتیجه بهره واکنش خیلی کمتر از واحد خواهد بود .اما با اندک دمایی بیشتر نیز در حدود100 KEV در نمودار تغییرات دما با زمان به همراه بهره انرژی خیلی بزرگتر نمایان می گردد که نهایتاً به یک فرآیند گداخت حجمی منجر می شود. دوتریوم و گداخت ساشمه های D-T با تابش لیزر ، نشان می دهد که نه تنها دسترسی به تکنولوژی مربوطه می تواند در آینده نزدیک محقق گردد ، بلکه همچنین تجزیه و تحلیل اقتصادی از قیمت انرژی تولید شده نشان می دهد که انرژی حاصل از این نوع نیروگاه حتی می تواند ارزان تر از انرژی به دست آمده از نیروگاه شکافتی آب سبک باشد.

۶- پروژه هم جوشی اتیر Iter

Iter اسم مجموعه ای است که اولین راکتور هم جوشی جهان را که از نوع توکامک می باشد در فرانسه خواهد ساخت . این مجموعه متشکل است از کشورهای: روسیه ، ژاپن ، کانادا ، چین ، آمریکا ، هند ، کره جنوبی و اتحادیه اروپا ، آن ها را در این راه از نوت هادی ها برای قسمت های مغناطیسی راکتور استفاده می کنند . تواج خروجی این توکامک 410 مگاوات خواهد بود.

تولید Iter به زودی آغاز می شود و انتظار آن می رود که اولین پلاسما تقریباً سال 2016 و سوختن طولانی مدت پلاسمای D-T با چند صد MW توان هم جوشی تا آخر سال 2020 بدست آید. کلمه ایتر در زبان لاتینی به معنی راه می باشد و این نشان گر آغاز راهی برای انرژی ارزان و تمیز برای بشریت است.

۷- نتیجه گیری

باتوجه به موارد ذکرشده درمورد مزیتهای هم جوشی هسته ای نسبت به شکافت هسته ای می توان گفت اگر روزی انرژی حاصل از هم جوشی کاربردی گردد ؛ بشر به یک چشمه نامحدود انرژی دست خواهد یافت. همچنین در تولید انرژی از این روش خطر حوادث در راکتور ها بسیار ناچیز خواهد بود و در نهایت به دلیل درصد بسیار کمتر را دیواکتیویته ضایعات حاصل از این روش ، حمل و نقل آن ها به نسبت ضایعات ناشی از نیروگاه های شکافت بسیار راحت تر انجام خواهد شد. می توان گفت دستیابی به پلاسمای سوزان با گرمایش عمده ذرات آلفا در توان هم جوشی درحدود 200 MW با شرایط فشار حرارتی مشابه با آزمایش فعلی توکامک بزرگ هم امکان پذیر خواهد بود

www.SID.ir

Archive of SID

.

منابع

[1] L.shi,k.m . feng , impact of ferromagnetic behavior on plasma burning cycle,fusion enginccring and design 83(2008) 60-65.

[2] Katsuhiro shimado , jun- ichiitoh , makoto matsukawa , kenichi kurihara , (a control method of matrix converter for plasma control coil power supply) .fusion engineering and desingn 82(2007) 1513-1518 .

[3] Y. shimomura , (iter and plasma surface interaction issues in a fasion reactor) , journal of nuclear materials 363-365 (2007) 467-475 .

www.Koureh.ir

www.SID.ir