مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال پنجم، شماره ۵۴ ، دی ۱۴۰۲
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

تشریح و بررسی منحرف کننده در توکامک

محمد صدیق [۱]

[۱] کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

چکیده

شصت درصد خروجی پلاسما از منحرف کننده عبور میکند.مواد مختلف وروشهای خنک سازی که نمیتوانند در دیواره اولیه به کار روند،در منحرف کننده قابل استفاده اند. خطوط میدان منحرف کننده خیلی نازک هستند.در این لایه تنها شش سانتیمتر ضخامت دارد.در منحرف کننده،خطوط میدان بر روی ناحیه ای بزرگتر گسترده شده و برای سطوحی که در آنها برخوردها و ضربه های پلاسما تقریبا موازی با خطوط میدان می باشند،گرما به سطحی بزرگتر تحویل داده می‌شود.تعویض قسمت های منحرف کننده آسان تر از تعویض دیواره اولیه است.فن آوری منحرف کننده دروضعیت بهتری نسبت به دیگر بخش ها قرار دارد،چون ابعاد کوچکی دارند.بار گرمایی بر روی سطوح منحرف کننده دارای مقادیر بسیار بزرگی ازمرتبه MW/m2۲۰ است. بنابراین سیستم خنک‌کننده بخش بسیار مهمی از طراحی را تشکیل می دهد.

واژه‌های کلیدی: منحرف کننده، ایتر، پلاسما، تنگستن، خنک کننده، دمو، هلیم، تریتیم، دوتریم، دیواره اولیه

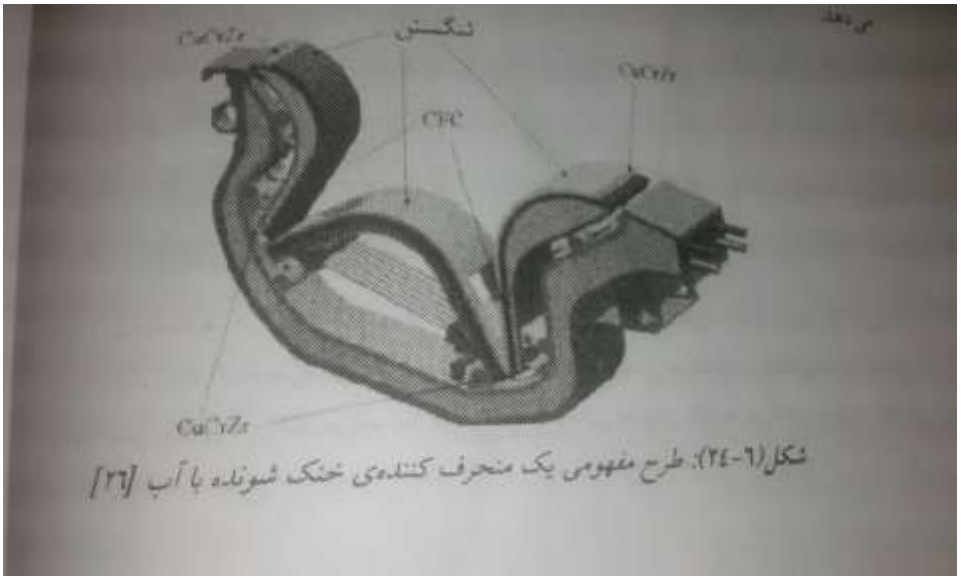
مقدمه

شصت درصد خروجی پلاسما از منحرف کننده عبور می کند. این امر باعث شده تا دیواره اولیه در معرض بخش اصلی بار گرمایی قرار نگیرد.مواد مختلف و روش های خنک سازی که نمی توانند در دیواره اولیه به کار برده شوند،درمنحرف کننده قابل استفاده اند.شکل (۱)چگونگی انجام این کارها را نشان میدهد.پیچه های مخصوصی که در انتهای محفظه خلا قرار دارند،باعث خم شدن خطوط میدان در تمامی نقاط گردیده و در نتیجه، خطوط میدان حجم اصلی محفظه را ترک کرده و به منحرف کننده وارد می شوند. پلاسما به تعقیب خطوط میدان متمایل شده و به جای برخورد ذرات با دیواره اولیه،انتظار داریم ذرات پر انرژی به سطوح منحرف کننده برخورد کنند. فقط قسمتی از پلاسما که در عرض میدان مغناطیسی منتقل میشود،بادیواره اولیه برخورد خواهد کرد. بار گرمایی بر روی دیواره اولیه میتواند در مواقعی که یک ناپایداری نظیر ELMویا اختلالی ناگهانی در عرض خطوط میدان مغناطیسی در پلاسما اتفاق می افتد از مقدار میانگین بیشتر شود.

شکل (۱):دونمای مختلف ازسطح مقطع یک توکامک که نشان دهنده منحرف کننده،دیواره اولیه و برخی قسمت های دیگر برای گرمایش،ابزار تشخیصی و طرح های آزمایشی می باشد. در شکل سمت چپ،خطوط میدان مغناطیسی بیرونی به چشم میخورندکه بیانگر چگونگی هدایت پلاسما به داخل منحرف کننده توسط این خطوط می باشند.سطوح مغناطیسی بسته داخلی برای وضوح شکل حذف شده اند.[۱و۲]

تشریح منحرف کننده ها:

در توکامک ایتر دیوار اولیه طوری طراحی شده است که قادر به مقاومت در برابر پالسهای گرمایی باشد،اما درتوکامک دمو می بایست چالشهای مذکور به روش مطلوبی حل شوند. همان طور که درشکل (۱)دیده میشود،لایه مرزی خطوط منحرف شده خیلی نازک هستند و مبینیم که در ایتر تنها شش سانتیمتر ضخامت دارد.در منحرف کننده خطوط میدان برروی ناحیه ای بزرگتر گسترده شده و برای سطوحی که در آنها برخوردها وضربه های پلاسما تقریبا موازی با خطوط میدان می باشند،گرما به سطحی بزرگتر تحویل داده میشود. تنگستن میتواند برای این سطوح به کاربرده شود وحتی ترکیبات کربنی هم باوجود جذب تریتیم میتوانند مورد استفاده قرار گیرند.تعویض قسمت های منحرف کننده آسانتر از تعویض دیواره اولیه است وبنابراین، تریتیم به طور متناوب بازیافت خواهد شد.همچنین بارگرمایی برروی سطوح منحرف کننده دارای مقادیر بسیار بزرگی از مرتبه ۲۰MW/m2است. بنابراین سیستم خنک کننده بخش بسیار مهمی ازطراحی راتشکیل میدهد. استفاده ازآب برای خنک سازی ایتر امکان پذیر است،امادر دماهای بسیار بالای راکتور دمو یا نیروگاه های گداخت می بایست ازسیستم خنک کننده هلیم استفاده شود.شرایط داخل منحرف کننده بسیار ویژه است. یون ها باانرژی دهها kev در طول خطوط میدان حرکت میکنند،با الکترون ها تزویج شده و باعث خنثی شدن بارالکتریکی آنها میشوند.هنگامی که یونها به سطح جامد برخورد میکنند،با الکترونها باز ترکیب شده واتمهای خنثی راتشکیل میدهند. همچنین مخلوط چگالی از پلاسما باگاز خنثی حاصل از دوتریم، تریتیم،هلیم وناخالصی ها وجود دارد که می بایست ناخالصی ها را از پلاسما جداکرد. گاز خنثی نیز باید خیلی سریع توسط پمپهای خلا وقبل از آنکه به داخل محفظه اصلی برگشته ودوباره یونیزه شود،به خارج از محفظه پمپ شود.برای گیراندازی ذرات خنثی درداخل منحرف کننده می بایست از ساختار گنبدی شکل ویژه ای بهره برد. شکل (۲)قسمت های اصلی منحرف کننده مورد نظر ایتر رانشان میدهد. پلاسما تحت زاویه ای کوچک باسطوح دمای بالا که از تنگستن وCFC ساخته شده اند،برخورد می کند. یک ماده منتقل کننده گرما (CuCrZr)،انرژی گرمایی را به سطوح قابل خنک سازی توسط آب انتقال می دهد.



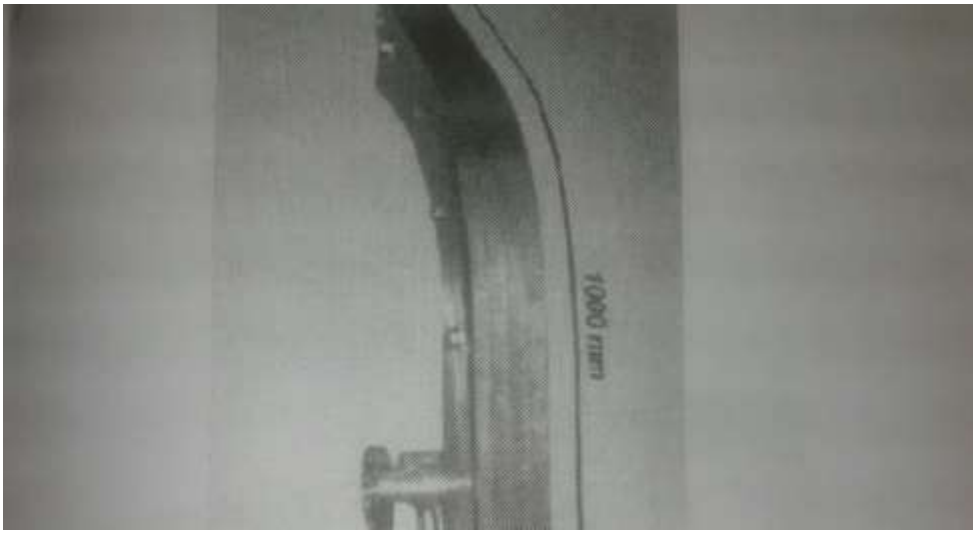
شکل(۶-۲٤): طرح مفهومی یک منحرف کننده‌ی خنک شونده با آب [۲۶]

شکل(۲)طرح مفهومی یک منحرف کننده خنک شونده باآب[۲]

سیستم خنک‌کننده آب که تادمای C۱۷۰ قادر به خنک سازی است،نمیتواند برای راکتور دمو یا نیروگاه‌های گداخت به کاربرده شود و به جای آن می بایست ازسیستم خنک کننده باگاز هلیم استفاده کرد. هلیم دردمای C۵۴۰ تزریق وتا دمای C۷۲۰ داغ میشوند[۳].همچنین تنگستن وآجرهای سرامیکی CFC تادمای C۲۵۰۰ داغ میشوند. خنک کننده ها می بایست بافشارزیادی تزریق شوند تابتوانند گنبد کوچکی راطبق شکل (۳)خنک کنند. این گنبدها درداخل واحدهای نه انگشتی سرهم شده که درکل، سطح خنک شده یکنواختی را تشکیل میدهند.

شکل (۳):طرحی از یک سیستم خنک کننده هلیومی برای منحرف کننده[۲].الف):هلیم قسمت گنبد انگشتی شکل را خنک میکند،ب):نه عدد ازاین گنبدهای انگشتی شکل دریک واحد جمع شده اند و ج):تعدادی ازاین واحدها یک سطح خنک شونده را میسازند.

فن آوری منحرف کننده دروضعیت بهتری نسبت به دیگر بخش ها قرار دارد،زیرا منحرف کننده ها ابعاد کوچکی داشته ودرگذشته بطور وسیعی مورد آزمایش قرار گرفته اند.برای نمونه میتوان به تنگستن باابعادی درمقیاس یک متر وهمچنین قطعات منحرف کننده CFC که درشکل(۴)نشان داده آیم اشاره کرد که درآزمایشگاه کارلسروهه آلمان تحت شار گرمایی حدود MW/m2۲۰ مورد آزمایش قرارگرفته است. همچنین دراین آزمایشگاه، مواد منحرف کننده در معرض تابش نوترونی مورد مطالعه قرار گرفته اند.به نظرمیرسد که طراحی منحرف کننده های خنک شونده باآب درشارهای گرمایی تا MW/m2۲۰ و منحرف کننده ها ی خنک کننده باهلیم تا MW/m2۱۵ امکان پذیر می باشد.



شکل (۴):یک سطح آزمایشی منحرف کننده خنک شونده باآب [۲].

نتیجه گیری:

شصت درصد خروجی پلاسما ازمنحرف کننده عبور میکند. لایه مرزی خطوط میدان منحرف شده خیلی نازک هستند. ودرایتر این لایه تنها۶ سانتیمتر ضخامت دارد. درمنحرف کننده خطوط میدان برروی ناحیه ای بزرگتر گسترده شده وبرای سطوحی که درآنها برخوردها وضربه های پلاسما تقریبا موازی با خطوط میدان هستند،گرما به سطحی بزرگتر تحویل داده می شود. برای این سطوح تنگستن به کار برده می شود. وحتی ترکیبات کربنی هم با وجود جذب تریتیم می توانند مورد استفاده قرار گیرند. تعویض قسمت های منحرف کننده از تعویض دیواره اولیه آسانتر است و در نتیجه تریتیم بطور متناوب بازیافت خواهد شد. بار گرمایی بر روی سطوح منحرف کننده دارای مقدار بسیار بزرگی از مرتبه MW/m2۲۰ است و در نتیجه سیستم

خنک کننده بخش بسیار مهمی از طراحی منحرف کننده را تشکیل می دهد. در سیستم خنک کننده ایتر از آب استفاده می شود. ولی درسیستم خنک کننده دمو یا نیروگاه های گداخت در دماهای بسیار بالا آزمایش استفاده کرد. طراحی منحرف کننده های خنک شونده با آب در شارهای گرمایی ۲۰MW/m2 و منحرف کننده های خنک شونده با هلیم تا شارگرمایی ۱۵MW/m2 امکان پذیر است.

سپاسگزاری

از اساتید بزرگوار آقای دکتر حسن حسن آبادی، آقای دکتر علیرضا توسلی و سرکارخانم دکتر یاسمن نصیرزاده که همیشه مشوق این حقیر هستند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع :

۱. G.Federici,2004,Plasma wall Intractions in ITER and lmplications for fusion Reactors(International School on Fusion Reactor Technology,Erice,Italy

۲. G Janeschitz,2004,Divertor Physics and Technology(International School on Fusion Reactor Technology,Erice,Italy

۳. L.Giancarli,2004,The PPCS In-Vessel Component Concepts(International School on Fusion Reactor Technology, Erice,Italy