مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه شهید چمران اهواز
۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

طراحی و شبیه‌سازی سیستم خلاء در سامانه گداخت هسته‌ای به روش IECF

ولی‌پور، محمد[۱]؛ ابراهیم جباری، علی[۲]

[۱] دانشکده فیزیک دانشگاه تهران ، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

[۲] دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت، تهران

چکیده

در کار انجام شده، مسیر تخلیه گازها و ناخالصی‌ها، در یک سیستم گداخت هسته‌ای به روش IEC (Inertial Electrostatic Confinement) طراحی و شبیه‌سازی شده است. حجم محفظه در این کار ۸۰۰ لیتر و سطح موثر محفظه ۲۰۰۰۰۰ سانتی‌متر مربع می‌باشد. جنس بدنه و توری های بکار رفته به ترتیب استیل و تنگستن می‌باشد. زمان تخلیه برای دو نوع مولد توربومولکولی با سرعت‌های ۲۵۰ و ۱۰۰۰ لیر بر ثانیه تخمین زده شده است. پمپ پشتی برای هریک از مولدهای توربو محاسبه و نمودار وابستگی سرعت تخلیه پمپ‌ها با فشار در سیستم مورد نظر ترسیم شده است. میزان خروج گازها برای مواد مختلف بکار رفته در این سیستم در زمان‌های مختلف ترسیم شده است. کانداکتانس برای لوله متصل کننده محفظه به سر پمپ توربو برای چند اندازه متفاوت، محاسبه و بستگی کانداکتانس به فشار کاری توسط نمودار نشان داده شده است. زمان تخلیه برای دو حالت بدون حضور گازهای زمینه و در حضور گازهای زمینه نشان داده شده است.

Design and simulation of vacuum system, using fusion systems

Valipour, Mohammad[1]; Ebrahim Jabari, Ali[2]

[1]*Physics Department, Tehran University, Tehran*
[2]*Physics Department,Science and technology University, Tehran*

Abstract

In this study, vacuum pumping of gas and impurity removal in IECF fusion system was investigated. The device has a stainless steel chamber with 800lit volume and a 200000cm^2 effective surface. The chamber has windows for diagnostic dives with PTFE and PEREX. Pumping time for tow TM pumps with pumping speed of 250l/s and 1000l/s, the speed of backing pump of TM pumps was evaluated. Out gassing of materials used in this work were evaluated and shown in diagrams.
PACS No.

Archive of SID

مقدمه

یکی از رهیافت‌های مهم که در سال‌های اخیر به منظور دستیابی به انرژی پاک مورد توجه محققان و مهندسان قرار گرفته است، گداخت هسته‌ای است. مکانیزم‌های مختلفی به منظور انجام فرایند گداخت هسته‌ای پیشنهاد و مورد آزمون قرار گرفته‌اند، که از آن جمله می‌توان به: محصورسازی مغناطیسی یا توکامک، محصورسازی لختی و IEC اشاره کرد. در روش IEC ، در اثر تجمع یون‌های حاصل در مرکز توری کروی و غلبه نیروی هسته‌ای بر دافعه کولمبی، گداخت هسته‌ای انجام می‌گیرد.

دانش و فناوری خلاء بعنوان یکی از ابزارهای مهم در پیشرفت و توسعه فناوری‌های مختلف، از جایگاه مهمی برخوردار است. هدف اصلی در طراحی یک سیستم خلاء (فشار منفی) دستیابی به فشار نهایی مطلوب در یک زمان مشخص و نگهداری فشار در حد مناسب برای انجام فرایندی خاص می‌باشد. از طرفی تنوع پدیده‌های مختلف در فشار پایین از جمله: خروج گازهای حل نشده در داخل مواد مختلف بکار رفته در محفظه خلاء و پدیده نفوذ، دستیابی به فشار بسیار پایین را با دشواری مواجه ساخته است.

www.SID.ir

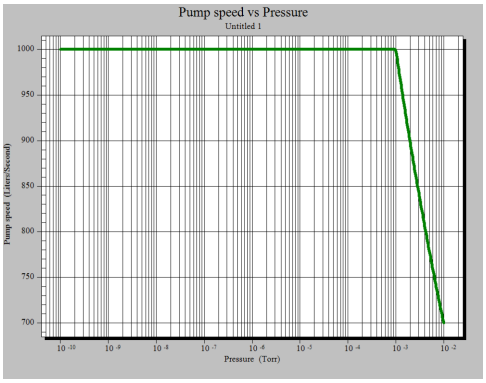
ملاحظات مربوط به سیستم خلاء، به عنوان یکی از زیر بخش‌های مهم و اساسی در سیستم‌های گداخت، از اهمیت فراوانی در مهندسی این سیستم‌ها برخوردار می‌باشد. به طور کلی به منظور آماده‌سازی و انجام فرایند گداخت لازم است محفظه کاری به فشار اولیه مناسب رسیده و پس از تزریق گاز کاری و انجام فرایند، میزان ناخالصی‌ها و محصولات واکنش در یک فشار مناسب کنترل گردند. به طور معمول ناخالصی‌های مختلف موجود در محیط، در اثر برخورد باریکه‌های پرانرژی با دیواره محفظه و جدا شدن عناصر مختلف از دیواره حاصل می‌شوند. همچنین انتقال تکانه و افزایش دمای دیواره، موجب خروج گازهای حل نشده در داخل جداره محفظه می‌گردد. از این رو، قبل از طراحی هر سیستم خلاء (به ویژه برای سامانه‌های گداخت)، لازم است فرایندهای مختلفی که در محفظه به منظور انجام گداخت هسته‌ای، صورت می‌پذیرد به دقت شناسایی گردد. بنابراین در طراحی مسیر تخلیه گازها از محفظه، محاسبه میزان خروج گازها چه قبل از انجام فرایند و چه در حین انجام فرایند به منظور تخمین سرعت تخلیه در دهانه پمپ‌ها صورت می‌پذیرد. در کار انجام شده، میزان خروج گازها قبل از انجام فرایند و تخلیه اولیه برای محفظه کاری با حجم و سطح مشخص محاسبه شده است. همچنین به منظور داشتن برآورد مناسب از کمترین فشارکاری حاصل، از دو پمپ توربومولکولی با ظرفیت‌های مختلف و محاسبه کانداکتانس برای اتصالات مختلف انجام گرفته است [۳-۱].

محاسبات و روش کار:

در یک نگاه کلی، محاسبات مربوط به خلاء را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد: پمپ‌ها (سرعت تخلیه پمپ خلاء)، هدایت (کانداکتانس)، گازهای ورودی (outgas)

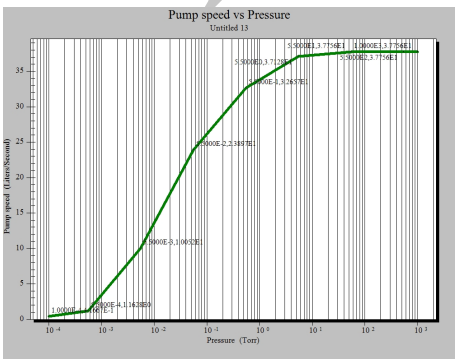
سرعت تخلیه:

سرعت تخلیه در مولدهای خلاء از رابطه : $S=\frac{Q}{P}$ بدست می‌آید. در این رابطه P فشار برحسب تور و Q ظرفیت پمپاژ بر حسب $torrl/s$ می‌باشد. به طور کلی سرعت تخلیه با فرض ثابت بودن Q، افزایش می‌یابد. در شکل (۱) نمودار تغییرات S بر حسب فشار نشان داده شده است.



شکل۱ : نمودار تغییرات سرعت تخلیه بر حسب فشار محفظه برای پمپ توربو با سرعت تخلیه ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه

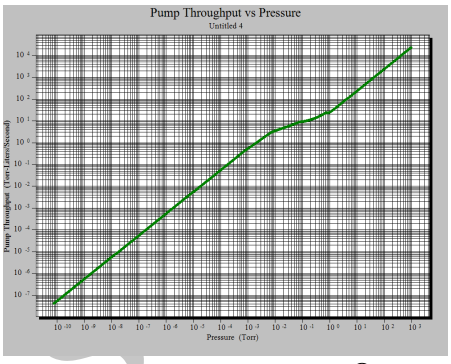
همانطور که مشخص است، برای راه‌اندازی این نوع از مولدها لازم است که از یک پمپ پشتی روتاری استفاده گردد. در شکل (۲) نمودار سرعت تخلیه یک نمونه پمپ روتاری مورد استفاده در کار حاضر نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در این نوع از مولدها با کاهش فشار به دلیل کاهش Q، سرعت تخلیه کاهش می‌یابد. با در نظرگرفتن نمودار تخلیه پمپ‌ها و مکانیزم عملکردی مولدهای مختلف، لازم است قبل از شروع به کار و در حین فرایند، از یک پمپ پشتی استفاده گردد. تخمین سرعت پشتی مناسب برای یک مولد توربو از رابطه: $\frac{S}{150}\langle S_B\langle\frac{S}{100}$ قابل محاسبه می‌باشد. در کار حاضر، برای دو پمپ توربو ۲۵۰ و ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه، به ترتیب از دو پمپ روتاری $10\ m^3/h$ و $36\ m^3/h$ استفاده شده است. انتخاب یک پمپ مناسب به شرایط کاری، بحث‌های اقتصادی و شکل و هندسه کار بستگی پیدا می‌کند.



شکل۲ : نمودار تغییرات سرعت تخلیه بر حسب فشار محفظه برای پمپ توربو با سرعت تخلیه ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه

Archive of SID
www.SID.ir

شکل (۳) نمودار تغییرات Q و فشار را برای یک مولد توربو ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه بدون در نظر گرفتن کانداکتانس را نشان می‌دهد. از روی این نمودار می‌توان سرعت تخلیه هر یک از پمپ‌های روتاری و توربو را محاسبه کرد. با در نظر گرفتن کانداکتانس اتصالات و ادوات مختلف، انتظار می‌رود ظرفیت تخلیه کاهش یابد.



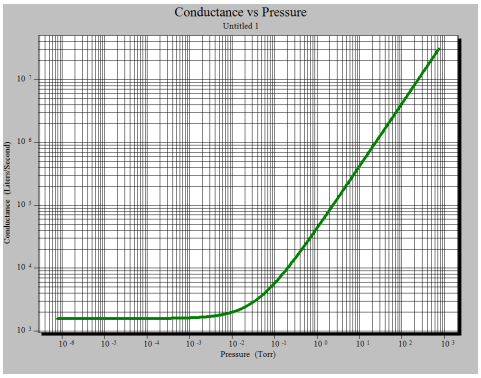
شکل۳ : نمودار تغییر Q، بر حسب فشار محفظه برای حالتی که دو پمپ روتاری و توربو به محفظه متصل هستند.

محاسبه کانداکتانس:

کانداکتانس در رژیم (جریان) مولکولی مستقل از فشار بوده و به سطح مقطع بستگی دارد. به طور کلی کانداکتانس در رژیم مولکولی از رابطه : $C_{general} = \alpha 3.84\sqrt{\frac{T}{M}}A$ محاسبه می‌شود. در این رابطه، α احتمال گذردهی، T دما بر حسب کلوین، M وزن مولکولی گاز بر حسب گرم بر مول و A مساحت سطح مقطع به سانتیمتر مربع می‌باشد. در کار حاضر از یک لوله با سطح مقطع دایره‌ای و با طول مشخص به منظور اتصال محفظه به سر پمپ توربو استفاده می‌شود. برای این حالت داریم: $C = 3.18\sqrt{\frac{T}{M}}\frac{D^3}{L}$.

شکل (٤) نمودار کانداکتانس بر حسب فشار، برای یک لوله به قطر ۲۱ سانتی متر و طول ۳۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، کانداکتانس در رژیم‌های ویسکوز و ترنزینت، به فشار بستگی داشته، اما در رژیم مولکولار مستقل از فشار، به هندسه بستگی دارد. مقدار کانداکتانس برابر است با:

$$C = 3.81\sqrt{\frac{300}{28}}\frac{21.156^3}{30} = 3934.87\ \frac{lit}{s}$$



شکل٤ : نمودار تغییرات کانداکتانس برحسب فشار

نرخ خروج گاز از سیستم:

همانطور که اشاره شد، لازم است میزان ورود گازها (leak-permeation-outgas) به داخل محفظه در فشارهای مختلف تعیین گردد. با کاهش فشار در محفظه خلاء، گازهایی که بصورت سطحی جذب دیواره شده‌اند وارد محفظه می‌شوند. به گونه‌ای که، عمل کاهش فشار و رسیدن به فشار نهایی، مختل یا کند می‌گردد. نرخ افزایش این گازها به داخل محفظه از رابطه:

$$outgass\sin g \quad rate = \frac{q_n}{t^{a_n}}$$

که n تعداد ساعت‌های سپری شده t زمان، a_n ثابت کاهش در زمان n و q ثابت گاز ورودی در زمان n می‌باشد، به دست می آید. برای محاسبه نرخ خروج گاز برای زمان‌های زیر یک ساعت، بین یک ساعت و ۱۰ ساعت و بالای ۱۰ ساعت به ترتیب داریم:

$$q_{<1hour} = 3600^{a_1} * q_1 * t^{-a_1}$$

$$q_{1\ to\ 10\ hour} = 3600^{(\log q_1 - \log q_{10})} * q_1 * t^{-(\log q_1 - \log q_{10})}$$

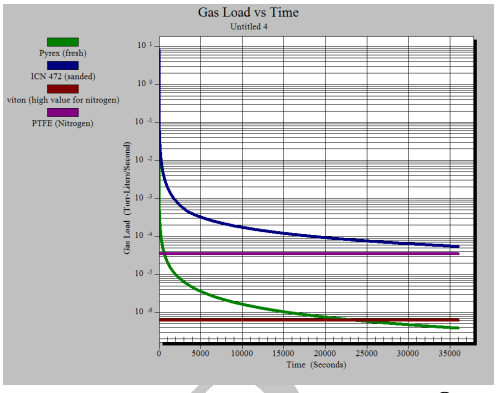
$$q_{>10\ hour} = 36000^{a_{10}} * q_{10} * t^{-a_{10}}$$

در مراجع مختلف، مقادیر qها و a ها برای مواد مورد استفاده در خلاء در دسترس می‌باشد. در کار انجام شده، منابع خروج گاز برای تخلیه اولیه عبارتند از : بدنه محفظه که در طراحی ما از جنس Stainless steel ICN 472(sanded)، پنجره‌های مختلف که به منظور نصب سیستم‌های تشخیصی و اپتیکی و یا برای دیدن داخل محفظه قرار داده شده‌اند که از جنس پیرکس و PTFE می‌باشد. همچنین O-Ring ها نیز از موادی هستند که در داخل محفظه موجب کاهش خروج گاز به داخل محفظه می‌شوند. شکل (۵)

Archive of SID

www.SID.ir

نمودار میزان خروج گاز را برای هر یک از این مواد با گذشت زمان را نشان می‌دهد.

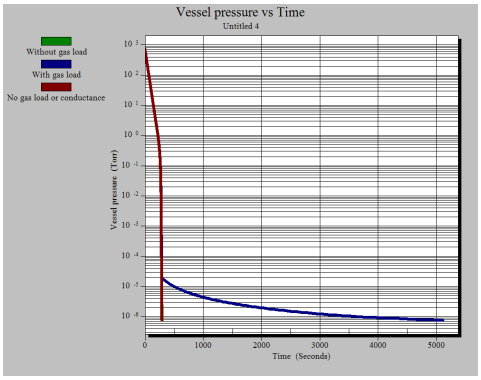


شکل۵ : نمودار Q بر حسب زمان برای مواد مختلف بکار رفته در محفظه سیستم IEC.

همانطور که از نمودار مشخص است، برای فلز استیل و پیرکس با گذشت زمان میزان خروج گازها کم شده ولی به صفر نمی‌رسند. همچنین میزان خروج گازها برای PTFE و Viton، برای همه زمانها یک مقدار ثابت می‌باشد. به طور کلی می‌توان نشان داد که برای اینکه در یک زمان مشخص به فشار کاری مورد نظر برسیم، لازم است سرعت تخلیه از نرخ ورود گازها به داخل محفظه بیشتر باشد. نرخ خروج گاز برای این محفظه از حاصل جمع همه Q ها بدست می‌آید. همچنین نرخ خروج گازها در فشارهای بسیار پایین با اهمیت‌تر می‌باشد.

زمان تخلیه:

برای محاسبه زمان تخلیه بدون در نظر گرفتن گازهای ورودی خواهیم داشت: $t = \frac{V}{S}\ln\frac{P_i}{P}$، که در اینجا Vحجم بر حسب لیتر، S سرعت تخلیه به لیتر بر ثانیه، P_i فشار اولیه به تور و P فشار نهایی به تور می‌باشد. شکل (٦)، نمودار زمان تخلیه را برای دو حالت بدون در نظر گرفتن گازهای ورودی و با در نظر گرفتن گازهای ورودی نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، با کاهش فشار و افزایش نرخ ورد گازها به داخل محفظه زمان تخلیه افزایش یافته و در نهایت به یک فشار نهایی با توجه به ساختار می‌رسد. در حالت کلی زمان تخلیه از رابطه: $P = P_0 e^{\frac{-St}{V}} + \frac{Q_0}{S} + \frac{Q_D}{S} + \frac{Q_K}{S}$ محاسبه می‌شود. با فرض در نظر گرفتنoutgas ، permeation و leak زمان تخلیه به شدت افزایش می‌یابد.



شکل٦ : نمودار زمان تخلیه برای دو حالت بدون گاز ورودی و همراه گاز ورودی

نتیجه گیری

در کار حاضر، مسیر تخلیه برای سیستم گداخت هسته‌ای به روش IEC، طراحی و شبیه سازی شده است. حجم محفظه در این کار ۸۰۰ متر مکعب و سطح موثر ۲۰۰۰۰۰ سانتی‌متر مربع می‌باشد. محاسبات مربوط به زمان تخلیه برای حالتی که مولد توربو با سرعت ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه و مولد روتاری بعنوان پمپ پشتی با سرعت ۱۰ متر مکعب بر ساعت استفاده شده است، محاسبه و نمودار آن ترسیم شده است. میزان خروج گازها از مواد مختلف بکار رفته در خلاء محاسبه و نمودار مربوط به این مواد بر حسب زمان تخلیه ترسیم شده است.

مرجع‌ها

[1] F. O'Hanlon "*A User's Guide to Vacuum Technology*" - Wiley (2003)
[2] Dorothy M. Hoffman, John H. Thomas, Bawa Singh "*Handbook of Vacuum Science and Technology*", Elsevier (1998)
[3] Dr. Walter Umrath "*Fundamentals of Vacuum Technology*", Oerlikon LEYBOLD vacuum

Archive of SID
www.SID.ir