نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران
شماره ۱۸، صفحات ۴۵ - ۳۹، ۱۳۷۸

ساخت کوره خلاء ۸ لیتری

عبدالرحیم پرتوی
مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

کوره خلاء به عنوان اسباب کاربردی، موارد استفادهٔ متعددی در پژوهش و فناوری دارد، بویژه در مواردی که هم نیاز به محیط خلاء و هم به دماهای بالا و کنترل شده باشد. جوشکاری در خلاء [1]، آبکاری [2] و ساخت آلیاژهای مختلف از آن جمله‌اند. کوره خلاء ساخته شده در این بخش استوانه‌ای است بگنجایش ۸ لیتر از جنس فولاد زنگ‌نزن که با استفاده از تعداد پنج بازتاباننده متشکل از ورقه‌های فولاد زنگ‌نزن نازک (به ضخامت ۰/۲ میلی‌متر)، در مقابل اتلاف گرما عایق‌بندی شده و نیاز به مصرف توان الکتریکی چندان بالایی ندارد (حدود ۲ KW) و گرمای لازم را برای عملیات حرارتی موردنظر تولید می‌کند. بنابراین ایجاد خلاء و عایق بندی کوره در مقابل اتلاف گرما، دو عامل اساسی در ساخت این کوره به شمار می‌روند.

مقدمه

کوره خلاء کاربردهای فراوانی در فناوری دارد، از جمله: ساخت آلیاژهای مختلف، رشد بلور، جوشکاری در خلاء، آبکاری، تخلیهٔ اکسیژن و گازهای دیگر از خلل و فرج مواد چند کاربرد رایج آن است. کوره خلاءِ ساخته شده که حدود ۱۰۰ ساعت از عمر مفید آن می‌گذرد، سه ویژگی دارد:

۱- احتیاج به آب برای خنک کردن ندارد

۲- دارای برق‌رسان ورودی [3] منحصر بفرد و ارزان است که در این بخش طراحی و ساخته شده است*.

۳- دارای پنجره کوارتزی برای مشاهدهٔ عملیات حرارتی است.

اجزای تشکیل دهنده کورهٔ خلاء

این اجزا عبارتند از: دستگاه ایجاد خلاء و خلاءسنج، وسیلهٔ انتقال توان، دستگاه مولّد گرما، سیستم الکترونیکی (دماسنج و کنترل توان)، بازتاباننده‌ها (سیستم عایق‌بندی) و وسایل باز و بسته کردن درِ کوره (به صورت معلّق).

الف- دستگاه ایجاد خلاء: تشکیل شده است از یک پمپ خلاء مکانیکی چرخان باظرفیت ۱۴۰ lit/min که قادر است فشار درون محفظه خلاء را به حدود 10^{-3} میلی‌متر جیوه برساند؛ میزان خلاء به وسیلهٔ هِد پیرانی [4] اندازه گیری می‌شود. محفظهٔ خلاء استوانه‌ای است به قطر خارجی ۲۲ سانتی‌متر، ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر از جنس فولاد زنگ‌نزن که به عنوان درِ کوره نیز عمل می‌کند و با یک وزنهٔ سربی در حال تعادل است (شکل ۱). با اندک نیروی وارد به این وزنه، دستگاه بطور تعلیقی عمل کرده و باز و بسته می‌شود.

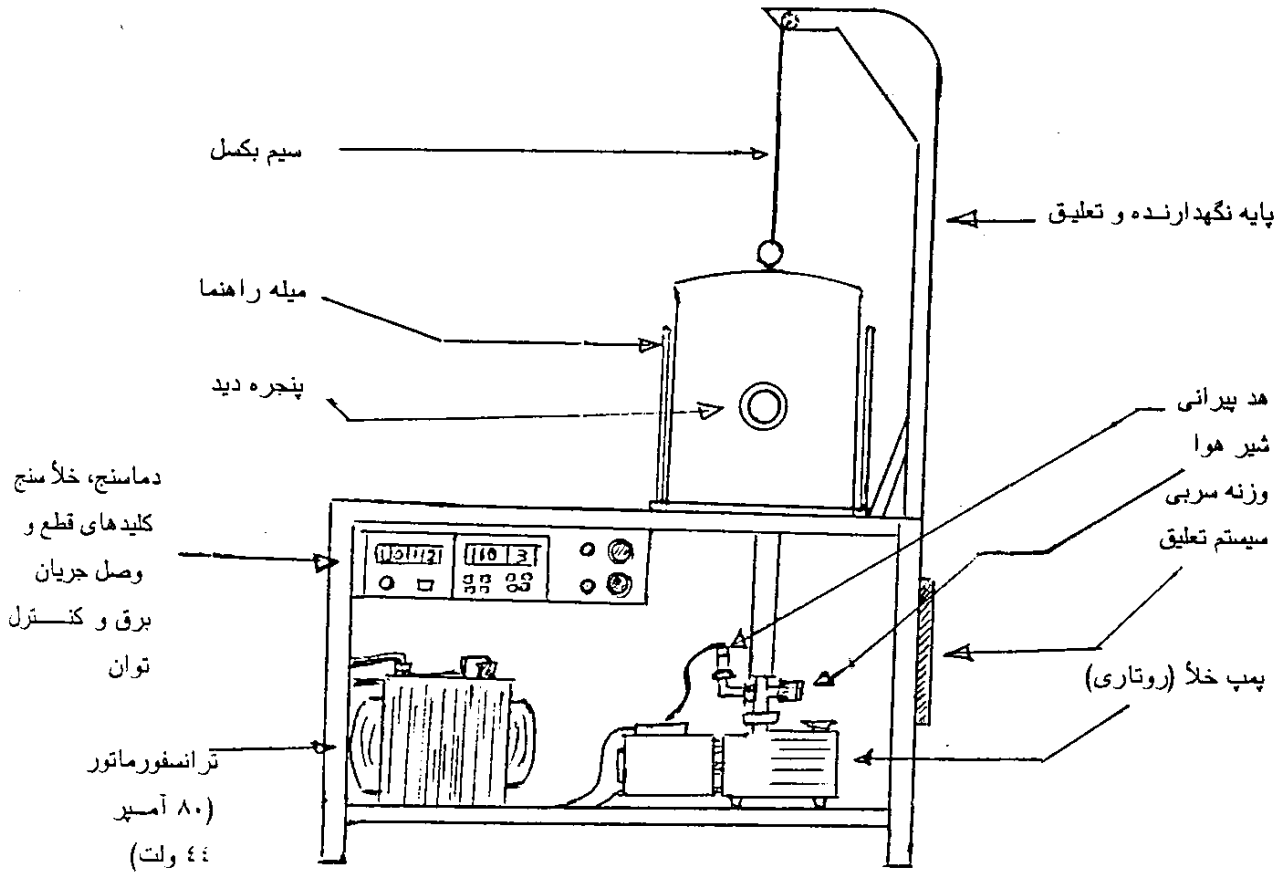
۱- Brazing

۲- Annealing

۳- Feed through

*- این طرح بعنوان نوآوری در سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی بررسی شده و مورد تایید قرار گرفته است.

۴- Pirani Head



شکل ۱- طرح سادهٔ کورهٔ خلاء

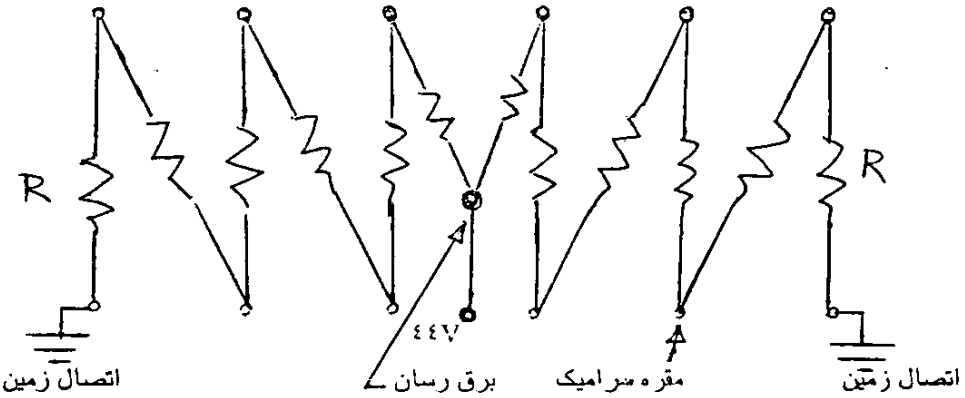
همچنین دارای یک پنجرهٔ دید از جنس شیشه کوارتز به قطر ۵ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۲ سانتی‌متر برای مشاهدهٔ عملیات حرارتی است.

ب- دستگاه انتقال برق: این دستگاه یک نوع برق‌رسان (به نام Lead through) است که به وسیلهٔ آن دو کار انجام می‌گیرد. یکی انتقال جریان برق زیاد به داخل محفظهٔ خلاء بدون اتصال الکتریکی به بدنهٔ کوره، دوم حفظ میزان خلاء در حین برق‌رسانی. در عمل، فناوری "جوش سرامیک به فلز" پاسخگوی این نیاز است، ولی چون این صنعت در ایران هنوز به مرحلهٔ عرضه نرسیده است، در موارد لزوم باید به قیمت بسیار گران (گاهی تا ۳۰۰۰ مارک) از خارج خریداری شود، لذا کوشش به عمل آمد که نوعی خاص از این برق‌رسان ساخته و جایگزین آن شود، با این ویژگی که به وسیله گیره[5] به بدنه کوره متصّل می‌شود و قابل باز و بسته شدن می‌باشد (در نوع رایج معمولاً" به بدنهٔ کوره جوشکاری می‌شود).

ج- دستگاه مولّد گرما: رشته‌های مولّد گرما از جنس آلیاژ کنتال[6] با نقطهٔ ذوب حدود ۱۴۰۰ °C برروی مقرّه‌های سرامیک در دو ردیف موازی کشیده شده‌اند (شکل ۲) و به وسیلهٔ یک ترانسفورماتور کاهنده از طریق برق‌رسان تغذیه می‌شوند.

۵- Clamp

۶- Kanthal



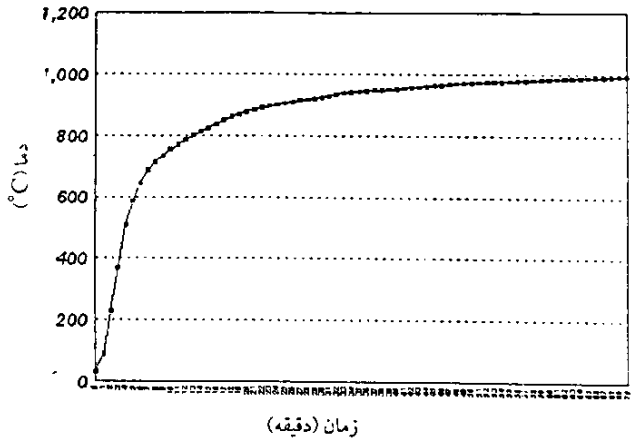
شکل ۲- آرایش رشته‌های مولّد گرما

طول سیم بکار رفته در هر ردیف ۱/۵ متر و قطر آن ۱ میلی‌متر است (مقاومت هر متر از سیم کنتال برای قطر ۱ میلی‌متر، ۱/۴۳ اهم است). مقاومت معادل کل از راه محاسبه ۱/۲ اهم بدست می‌آید ولی اندازه گیری، این مقاومت معادل را ۱/۴ Ω نشان داد. با توجّه به این که اختلاف پتانسیل اعمال شده برای تولید گرما ۴۰/۳ V =v است، مقدار توان مصرفی ۱۱۶۰ وات، به عبارت دیگر، برق مصرفی کوره ۱/۱۶۰ کیلووات ساعت است (یادآوری می‌شود که بر اثر عبور جریان و گرم شدن رشته‌ها، مقاومت کل آنها حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد که به نوبه خود باعث کاهش جریان تا حدود ۳ آمپر می‌گردد).

د- سنجش دمای کوره و کنترل آن: سنجش دمای کوره تا ۱۲۰۰°C به صورت دیجیتالی و با مقدار از پیش تنظیم شده[۷] با دقت حدود ۵٪، به وسیلهٔ ترموکوپل Ni-Cr ، Cr صورت می‌گیرد. دمای موردنیاز کوره با فرمان کلید قطع و وصل رله شده (با سیستم الکترونیکی) تنظیم می‌شود. نمودار تغییرات دمای کوره برحسب زمان در شکل ۳ نشان داده شده است.

هـ- عایق‌بندی گرمایشی: عایق‌بندی خوب در کوره‌های خلاء عامل بسیار مهمی است، بطوری که با صرف توان الکتریکی مناسب می‌توان به دماهای بالایی دست یافت و بازدهی کوره را افزایش چشمگیری داد.

برای جلوگیری از اتلاف گرما اولاً از آب به عنوان خنک‌کننده بکلی صرف‌نظر شده است زیرا آب خود عامل

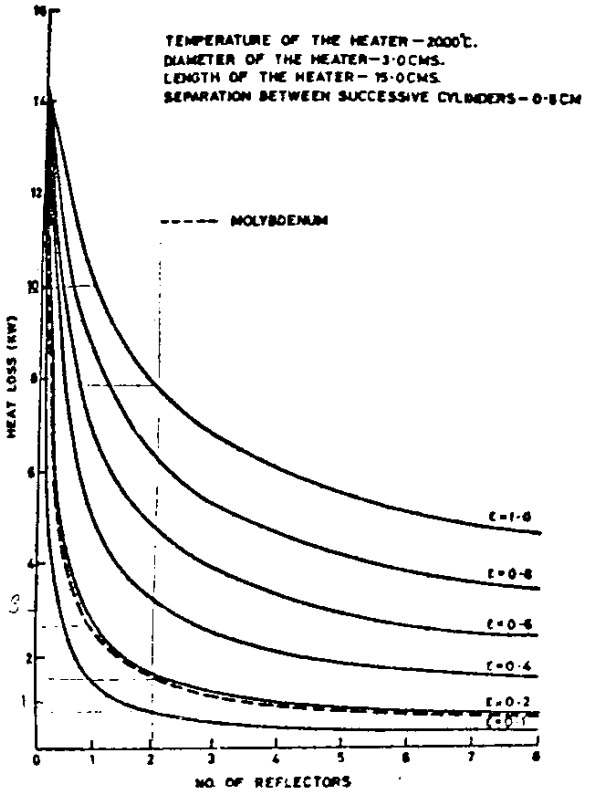


شکل ۳- نمودار افزایش دمای کوره خلاء برحسب زمان

V- Preset

انتقال گرما از بدنه کوره به خارج است و ضد عایق‌بندی محسوب می‌شود. برای این منظور از آلیاژها و موادی استفاده شده است که بدون نیاز به آب تحمّل دماهای بالا را داشته باشند. بجای خنک کردن رینگ‌های حلقوی (اورینگ‌ها) با آب از اورینگ‌هایی به نام Viton[2]، که تازه به بازار آمده، استفاده شده است (اگرچه قیمت آن حدود ۲۰ برابر رینگ‌های حلقوی معمولی است ولی رویهمرفته ساده‌تر و مناسبتر از دستگاه خنک‌کنندهٔ آبی است). ثانیاً پنج بازتاباننده نازک استوانه‌ای شکل از جنس فولاد زنگ‌نزن، به ضخامت ۰/۲ میلی‌متر و بفاصله تقریباً ۱ میلی‌متر از یکدیگر بکار رفته است که تابش گرما را مانند آینه به داخل کوره باز می‌تابانند و باعث افزایش دما می‌شوند. بدیهی است به علت ایجاد خلاء نسبی در کوره، انتقال گرما به خارج از طریق رسانش و همرفتی اندک است و انتقال گرما از رشته‌های ملتهب به جسم درون کوره از راه تابش صورت می‌گیرد؛ بنابراین بازتاباننده‌ها در بازتابش گرما به درون کوره نقش بسیار مؤثری دارند. شکل ۴ به عنوان شاهد نشان می‌دهد که در مورد بازتابانندهٔ مولیبدن، افزایش تعداد آن از یک عدد به دو عدد، باعث شده است که اتلاف گرما از ۲/۸ کیلووات به ۱/۵ کیلووات (حدود ۴۷ درصد) تقلیل یابد. با افزودن تدریجی این بازتاباننده‌ها اتلاف انرژی گرمایی به تدریج کمتر شده و پس از قرار دادن پنج بازتاباننده، مقدار اتلاف گرما تقریباً روی ۸۰۰ وات ثابت مانده است.

از طرف دیگر هر چه فاصله بین استوانه‌های بازتاباننده کمتر باشد اتلاف انرژی گرمایی نیز کمتر خواهد شد [۱]، (در این کوره، این فاصله حدود ۲-۱ میلی‌متر انتخاب شده است). در واقع، هر بازتاباننده خود در حکم تابش‌کننده است که مقداری از انرژی تابشی گرما را بداخل کوره باز می‌تاباند و مقداری را هم عبور می‌دهد که به بازتاباننده بعدی می‌تابد و



Reference: BHA BHA Atomic Researem Center

شکل ۴- نمودار شاهد اتلاف گرما برحسب تعداد بازتاباننده‌ها

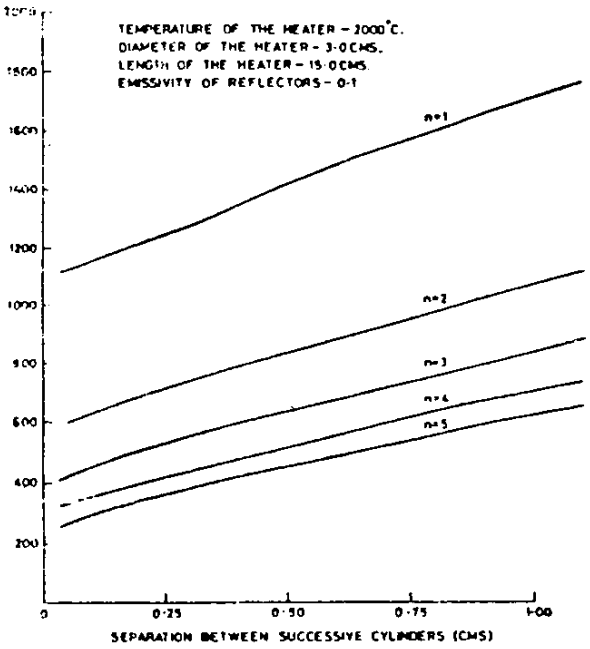
این عمل ادامه می‌یابد تا اینکه به آخرین بازتاباننده مقدار ناچیزی از انرژی گرمایی برسد. مقداری از این گرما بازمی‌تابد و مقداری هم از دیواره کوره به خارج هدایت می‌شود. شکل ۶ آرایش بازتاباننده‌ها و داخل کوره را نشان می‌دهد.

آنچه که شرح داده شد بطور نظری از رابطهٔ (۱) قابل برداشت است [۴]:

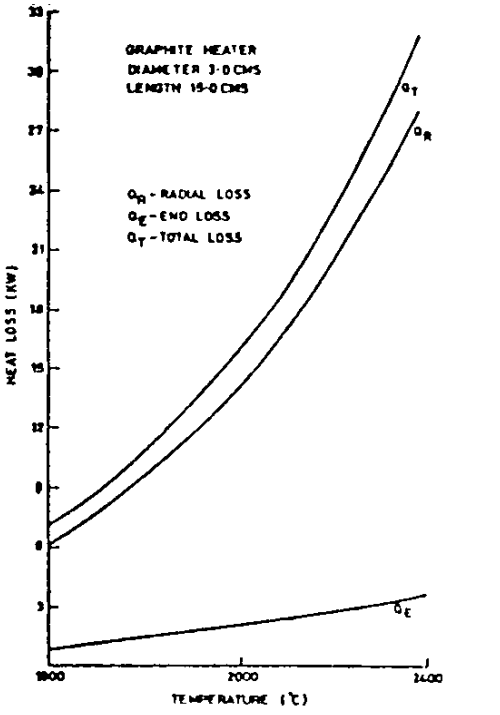
$$Q_R = A\varepsilon\,\sigma\,(T_1^4 - T_2^4) \qquad (1)$$

که در آن Q_R گرمای ایجاد شده به صورت تابش، A سطح رشته‌های گرم‌کننده، ε ضریب تابش[1] $(0<\varepsilon<1)$، T_1،

[1]- Emissivity

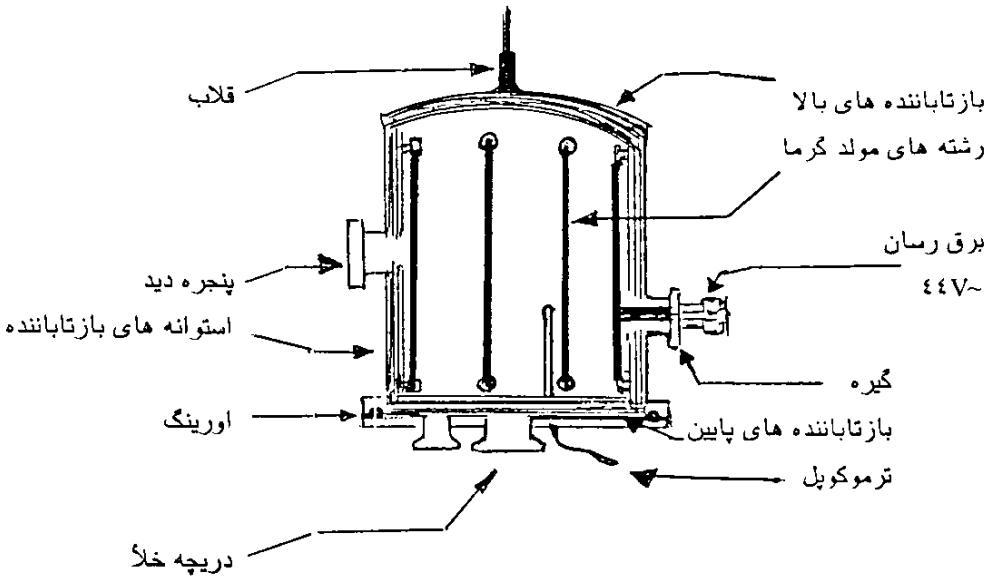


Reference: BHA BHA Atomic Researcm Center



Reference: BHA BHA Atomic Researcm Center

شکل ۵- نمودارهای شاهد اتلاف گرما برحسب فاصله بین بازتاباننده‌ها و دمای کوره



شکل ۶- داخل کوره خلاء و آرایش بازتاباننده‌ها

دمای مطلق رشته‌های گرم‌کننده، T_1 دمای مطلق محیط بیرون کوره و σ ثابت استفان - بولتزمان برابر $5/67\times10^{-8}$ W/m^2K^4 است. ε بستگی به جنس بازتاباننده دارد و در مورد کوره ساخته شده مقدار آن ۰/۴ انتخاب شده است. با توجه به اینکه سطح رشته‌ها $A = 2\pi rl$ (l طول و r قطر سیم) است به ازای Q_R برابر ۱۱۶۰ وات، T_1 (دمای رشته ملتهب) در شرایط خلاء آیده‌آل برابر ۱۵۲۸ K (۱۲۵۵°C) حساب می‌شود. رابطه (۱) بدون در نظر گرفتن تعداد بازتاباننده‌ها، یعنی برای یک بازتاباننده در نظر گرفته شده است. برای n بازتاباننده، رابطه به صورت: $Q_R = \frac{A\varepsilon\sigma\,(T_1^4 - T_2^4)}{2n-1}$ خواهد بود که در آن Q_R مقدار انرژی گرمایی است که به آخرین بازتاباننده می‌رسد. بدیهی است هر چه n بیشتر باشد انرژی گرمایی کمتری به سطح خارجی کوره منتقل می‌شود.

یادآوری می‌شود که آهنگ بالارفتن دما در داخل کوره مطابق نمودار شکل ۳ است، ولی این تغییرات دما عیناً به نمونه منتقل نمی‌شود، بلکه نمونه سرانجام به تعادل دمایی که همواره پایین‌تر از دمای خود چشمه است می‌رسد.

قدردانی و تشکر

بدین وسیله از زحمات آقایان عباسعلی فلاح‌مراد، علیرضا گندمی و مهندس پروینی در تراشکاری و جوشکاری کوره خلاء و از آقای دکتر مسعود نراقی و کلیه کسانیکه مرا با راهنمایی‌های سودمند خود یاری نموده‌اند قدردانی می‌شود و همچنین از سرکار خانم جمالیان جهت تایپ مقاله سپاسگزاری می‌گردد.

1. Kanthal A: For heating elements, furnace, resists oxidation to 1300° C M70;%23.4 Cr %6.2 Al %1.9 Co, %0.06 C, bal Fe(%68.44)
2. Viton or Technoflon: Fluoro-rubber (FKM)

References

1. Some heat loss calculations for a vacuum furnace BHABHA Atomic Research Center (1975).
2. Thermal Radiation Heat Transfer MC Graw Hiil (1972).
3. A General Theory of Fumaces TN 7140 G4413.
4. M. Necapi, Ozisik: Heat Transfer (1985).
۵- عبدالرحیم پرتوی، محمّد زاغری، ساخت کوره خلاء برای وسایل با خلاء بالا، مقالات اولین سمینار کاربرد فیزیک پلاسما و روشهای وابسته در صنعت، (اردیبهشت ۱۳۶۳).

AEOI Sciemtific Bulletin
No. 18, pp. 39 - 45, 1999

FABRICATION OF VACUUM FURNACE

A. Partovi
Nuclear Research Center for Agriculture & Medicine, AEOI,
P.O. Box 31585-4395, Karaj-Iran

Abstract

Vacuum Furnace is a useful device in the field of research and technology, where both vacuum and controlled high temperature is required. Brazing, Annealing, outgasing, and different alloy productions are the examples.

The Vacuum Furnace which has been designed and fabricated in this center has the specifications of using five thin (0.2 mm) stainless steel sheets as a heat insulation plus a quartz window for visual heat treatment procedures. On the whole it is believed that good insulation and vacuum are two determining elements in designing vacuum furnace: in this regard, we achieve higher temperatures with relatively low electrical power to feed in.