ASP ENG co.
آرتینه صنعت پرتو

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

معرفی و راهنمای کارایی

"کوره تیوبی مادون قرمز اتمسفر کنترل"

۱- مقدمه

لازمه پیشرفت علم و تکنولوژی در جهان کنونی، شناسایی و ساخت تجهیزات و ابزارهایی است تا بتوانند محصولاتی را تولید کنند که با روش‌های سنتی امکان ساخت آن‌ها میسر نیست یا مقرون بصرفه نیستند. یکی از این ابزارها یا تجهیزات، کوره‌های گرمایشی هستند که در طیف وسیعی از صنایع قابل استفاده هستند. کوره مادون قرمز ساخته شده بعنوان اولین نمونه موجود در کشور، می‌تواند شروع تغییرات گسترده ای در سیستم‌های گرمایشِ کوره‌های آزمایشگاهی و صنعتی باشد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کوره‌های مادون قرمز، نرخ گرمایشی فوق العاده بالای آن‌ها (تا ۱۰ °C/s = ۶۰۰ °C/min) نسبت به کوره‌های المنتی یا مقاومتی می‌باشد که با کمتر المنت‌های حرارتی می‌توان به آن رسید. نکته مهم، مسئله ارزش انرژی وکاهش مصرف آن در شرایط کنونی است. با استفاده از این سیستم می‌توان کوره‌های صنعتی با مصرف انرژی بسیار کمتر (کاهش ۶۰ درصدی) از کوره‌های معمول خلق نمود. مزیت دیگر چنین کوره‌هایی، هزینه پایین نگهداری آن است و همانند کوره‌های المنتی نیازی به روشن کردن کوره در زمانهای طولانی جهت رسیدن به شرایط مورد نیاز نیست. لذا این امکان فراهم می‌شود تا بعد از هر بار بارگذاری نمونه یا قطعه، سیستم را خاموش نمود تا در این مورد نیز باعث کاهش مصرف انرژی شوند.

۲- دستورالعمل راه اندازی

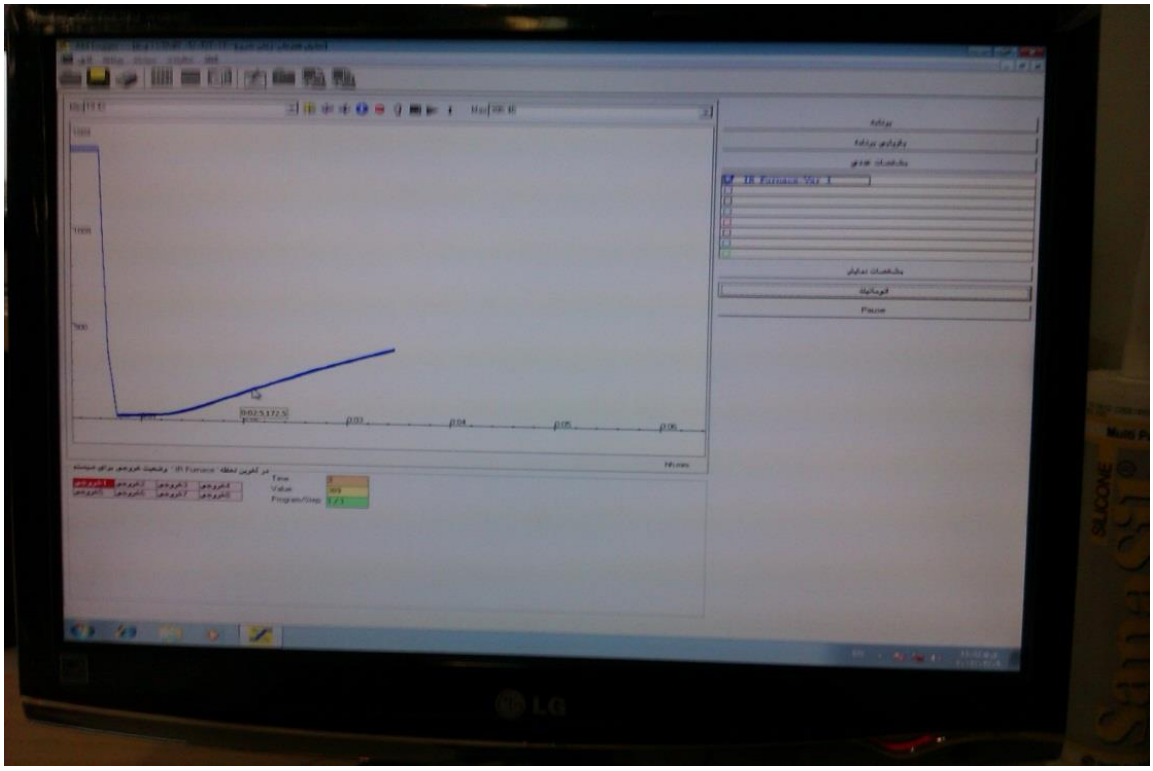
عامل اصلی حرارت‌دهی در این کوره، لامپ‌های مادون قرمز است که می‌توانند میزان ۲۰-۸ کیلووات توان الکتریکی را به انرژی حرارتی تبدیل کنند. همچنین این کوره این قابلیت را نیز دارد که با قرارگیری لامپ‌های بیشتر، توان خود را تا ۳۶۰۰۰ وات افزایش دهد. جهت اندازه گیری جداگانه دما در داخل و خارج محفظه واکنش از دو ترموکوپل نوع K یا S استفاده می‌شود تا بتوانند دما را تا ۱۲۰۰ °C با دقت و سرعت پاسخ دهی بالا اندازه گیری و کنترل کنند.

به منظور کنترل نرخ گرمایش و سرمایش برای فرآیندهای گوناگون متالورژیکی و شیمیایی، قابلیت تعیین دقیق آن در این کوره طراحی گردید. بعلت تولید آمپر بالا، لذا نیاز به دستگاهی است تا بتواند این مقدار جریان را بصورت نرم به مدار تزریق نماید تا لامپ‌های حرارتی در اثر قطع و وصل شدن جریان بالا، مستهلک نشوند و صدمه نبینند. این عملیات توسط یک تریستور (SCR) با خروجی ۴-۲۰ mA محقق گردید. نحوه کنترل فرمان دما توسط یک ترموستات[1] تفاضلی، مشتقی، تناسبی[2] (PID) با خروجی ۴-۲۰ mA صورت می‌گیرد. با استفاده از این سیستم کنترل دمایی، پارامترهای بسیاری از جمله نرخ گرمایش و

[1] - Thermoregulator
[2] - Proportional Integral Derivative

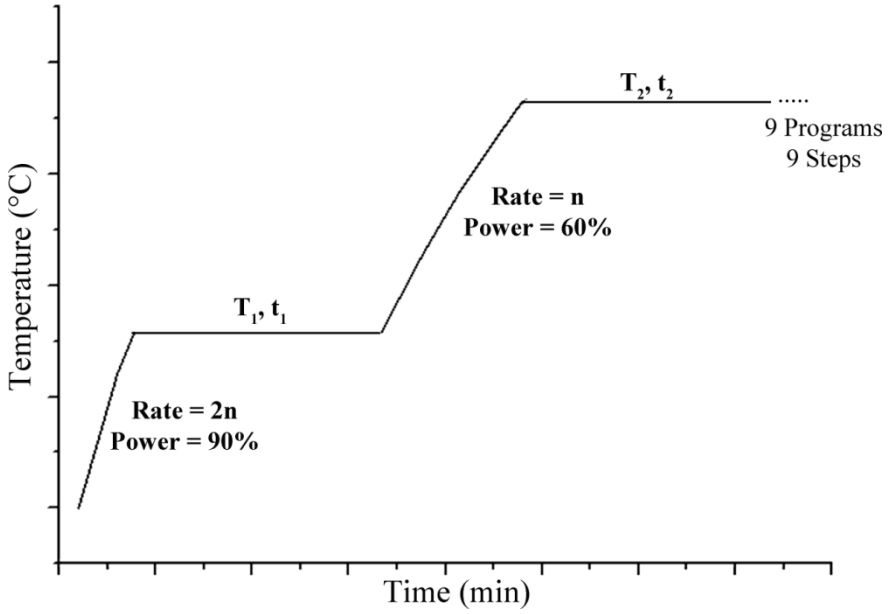
سرمایش، میزان آمپراژ المنت‌ها، تنظیم زمان و دما با کمترین میزان خطا در ۹ مرحله مختلف دمایی قابل تنظیم شدند. بنابراین این کوره تیوبی مادون قرمز با توان‌های ۸، ۱۲ و ۲۰ کیلو وات، این قابلیت را دارد تا به نرخ‌های گرمایش ۱-۶۰۰ °C/min برسد.

برای کنترل دمای کوره از سیستم کنترل کننده PID دار استفاده شد. این عمل توسط یک نرم افزار با رایانه کنترل می‌شود (شکل ۱). کنترل میزان مصرف آمپراژ هر لامپ توسط فرمان از PID به تریستور انجام می‌شود. سیستم کامپیوتری PID، این قابلیت را دارد تا همزمان با گرمایش یا سرمایش کوره، نمودار درجه حرارت بر حسب زمان را رسم کند و آن را به صورت یک فایل ارائه دهد.



شکل ۱- سیستم کنترل کامپیوتری کوره مادون قرمز در حین انجام فرآیند.

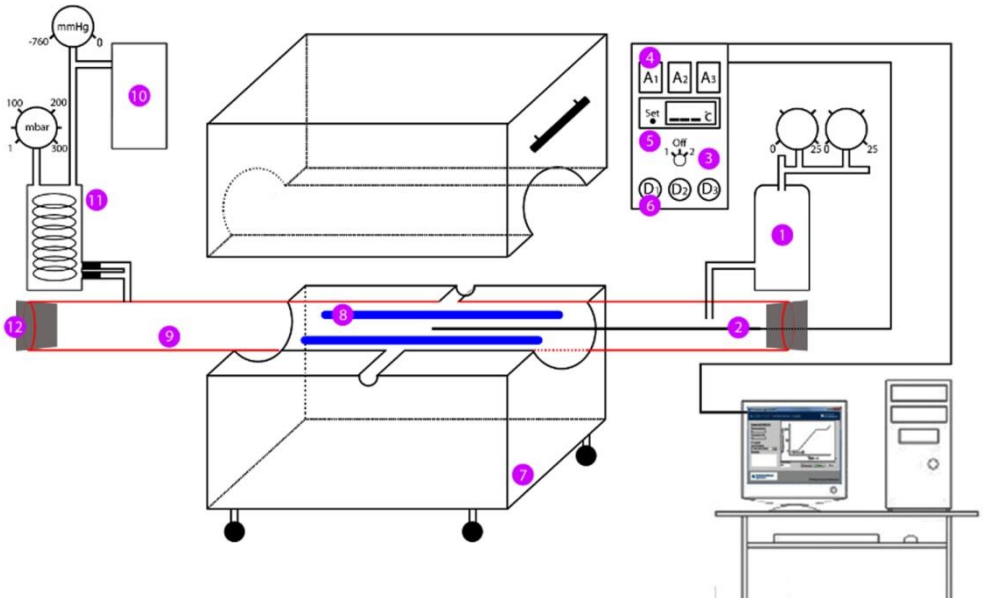
همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با افزایش و یا کاهش میزان آمپراژ لامپ‌ها و بکارگیری ترموستات PID دار متصل به کامپیوتر، می‌توان پارامترهای بسیاری از جمله نرخ گرمایش و سرمایش، میزان آمپراژ هر لامپ، تنظیم زمان و دما را با کمترین میزان خطا کنترل و اندازه‌گیری نمود. با توجه به توان مصرفی کوره و تنظیم نرخ حرارتی، سیستم کنترلی طوری طراحی می‌شود تا میزان توان در هر شیب حرارتی را بطور اتوماتیک انتخاب نماید. برای مثال با استفاده از رابطه معروف P=VI، می‌توان کل آمپر مصرفی در هر فاز را تعیین نمود (اگر میزان تلفات صرفنظر شود) و با توجه به انتخاب کاربر از سیکهای حرارتی، میزان آمپر را در هر فاز متناسب با توان مورد نیاز تنظیم می‌شود.



شکل ۲- نمودار دما - زمان و نمایش پارامترهای قابل اندازه‌گیری و فرمان توسط سیستم کنترل دما.

برای شروع به کار، در ابتدا هوای داخل محفظه توسط یک پمپ خلاء مکانیکی تخلیه می‌شود که در ادامه می‌توان اتمسفر گاز خنثی مانند آرگون یا خلاء باشد که فشار آن‌ها (مثبت یا منفی) توسط یک گیج دومنظوره اندازه گیری می‌شود. بعد از این کار، کوره روشن شده و طبق برنامه داده شده به نرم افزار، شروع به گرم کردن نمونه می‌کند. سیستم PID همچنین این قابلیت را دارد تا اگر آمپراژ مصرفی لامپ‌ها برای رسیدن به دما در زمان مشخص شده بیش از حد بود، با قطع مدار و خاموش کردن لامپ‌ها، نرخ را کنترل کند. پس از اتمام فرآیند، برای تخلیه هوای گرم داخل کوره، می‌توان از یک سیستم خنک کننده (تبریدی- تجهیزات جانبیاستفاده کرد تا میزان خنک کنندگی محفظه افزایش یابد. این گازها توسط هود به بیرون منتقل می‌شوند (شکل ۳). شماتیک کوره در شکل ۴ ارائه شده است.

شکل ۳- نمایی از سیستم خنک کننده و پمپ خلا.



شکل ۴- شماتیک کوره مادون قرمز. ۱- کپسول گاز آرگون ۲- ترموکوپل ۳- سوئیچ ترموکوپل داخل و خارج محفظه کوارتز ۴- آمپرمتر ۵- سیستم کنترل دمای داخل و خارج محفظه کوارتز ۶- دیمر ۷- کوره ۸- لامپ‌های مادون قرمز ۹- محفظه کوارتز ۱۰- پمپ خلا ۱۱- سیستم خنک‌کننده ۱۲- درپوش سیلیکونی

۳-اجزای کوره مادون قرمز

۳-۱- محفظه واکنش

کوره مادون قرمز ساخته شده به گونه ای طراحی شد که بتواند یک محفظه واکنش از جنس کوارتز به قطر ۹ cm را درون خود قرار دهد. همچنین جهت سهولت در باز و بسته شدن کوره، کوره در دو بخش مجزا طراحی و ساخته شد که قسمت پایینی و بالایی آن توسط گیره‌هایی به هم متصل می‌شوند. این عمل در خنک کردن کوره بعد از پایان فرآیند نیز بسیار مؤثر می‌باشد. قرار گرفتن محفظه واکنش، درون یک کوره تیوپی این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان سیستم کوره را بصورت اتمسفر کنترل، هدایت نمود. کنترل و انتخاب اتمسفر در حین انجام یک فرآیند متالورژیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. در بیشتر کوره‌های اتمسفر کنترل، جنس محفظه واکنش معمولاً از آلومینا، فولاد ضد زنگ یا گروه‌های فولادی مختلف انتخاب می‌شود. بعلت نرخ حرارتی بالا در کوره مادون قرمز و شوک حرارتی بسیار کم آلومینا، لذا انتخاب این ماده بعنوان محفظه واکنش، دور از انتظار است. محفظه‌های گروه آهنی مانند فولاد ضدزنگ، در حین گرم شدن حرارت زیادی را به محیط اطراف خود انتقال می‌دهند که باعث به وجود آمدن تلفات حرارتی و کاهش راندمان کوره خواهد شد. همچنین، استفاده مدام از این مواد باعث خوردگی آن‌ها شده و به مرور زمان از بین می‌روند. محفظه‌های آلومینا و آهنی نمی‌توانند شرایط و وضعیت نمونه‌ها را در حین انجام پروسه نشان دهند و فرآیند در محفظه‌ای دربسته صورت می‌گیرد که امکان مشاهده آن وجود ندارد. با توجه به مطالب گفته شده بهترین ماده برای انتخاب محفظه واکنش، شیشه‌های کوارتز هستند. مزیت استفاده از محفظه واکنش کوارتز در این کوره، در مقایسه با سایر محفظه از جنس فولاد زنگ نزن یا آلومینا، پایداری بسیار زیاد آن به شوک حرارتی تحت نرخ گرمایشی بالا است. همچنین عایق مناسبی برای تمرکز حرارت است. بطوریکه حرارت ایجاد شده از لامپ‌ها، در قسمت مشخصی از محفظه باقی می‌ماند. شیشه‌های کوارتز همانند شیشه شفاف هستند و این قابلیت را ایجاد می‌کنند تا بتوان کل فرآیند را از زمان شروع تا پایان، مشاهده و کنترل نمود. علاوه بر این، امواج مادون قرمز به راحتی از محفظه کوارتز عبور می‌کنند و این محفظه تاثیری بر میزان جذب امواج ندارد. کوارتز (با فرمول شیمیایی دی اکسید سیلیکون SiO_2) متداول‌ترین نوع کانی بر روی زمین است و در رده سیلیکات‌ها قرار دارد. این کانی تقریباً در همه محیط‌های زمین شناختی یافت می‌شود و کانی سازنده تقریباً تمام انواع سنگ‌هاست. کوارتز دومین سنگ معدنی فراوان در پوسته زمین بعد از فلدسپات[3] می‌باشد. کوارتز از فرآوری SiO_4 به SiO_2 بدست می‌آید. تنوع کوارتز از نظر شکل و رنگ در مقایسه با سایر کانی‌ها بیشترین است و این مسئله به دلیل توزیع گسترده و فراوانی کوارتز در طبیعت است. رنگ کوارتز شیری سفید کدر، است. انواع مختلف کوارتز بیشتر بر اساس ویژگی تا رنگشان

[3] - Feldspar

طبقه بندی می‌شوند. علاوه بر کوارتز، ۸ نوع کانی دیگر هم وجود دارند که از ساختار SiO_2 تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها و کوارتز، پلی مورف هایی از اکسید سیلیکون هستند و به گروه غیر رسمی به نام گروه کوارتز یا سیلیس تعلق دارد. تمامی آن‌ها به جزء کوارتز بر روی سطح زمین نادر هستند و تنها در دما و فشار بالا یا حضور هر دو فاکتور پایدار می‌مانند. تنوع رنگ در کوارتزها به اندازه تنوع طیف‌های مجود است اما کوارتز شفاف، متداول‌ترین نوع کوارتز از نظر رده بندی رنگ است و بعد هم کوارتزهای شیری یا سفید قرار گرفته‌اند. کوارتز در دمای ۱۷۳۰ °C شروع به نرم شدن می‌کند. هدایت حرارتی و ضریب انبساط حرارتی آن به ترتیب برابر ۱/۴ W/m.°C و ۵/۵ × $۱۰^{-۷}$ mm/°C می‌باشد. علاوه بر این، امواج مادون قرمز به راحتی از محفظه کوارتز عبور می‌کنند و محفظه کوره تاثیری بر میزان جذب این امواج ندارد

۳-۲- منابع تابشی حرارتی

تمامی اجسام در دمایی بالاتر از صفر مطلق از خود امواج مادون قرمز ساطع می‌کنند ولی، طول موج‌هایی می‌توانند اثر تابش حرارتی و نرخ گرمایش بالایی داشته باشند که محدوده آن‌ها ۱۰-۱ µm باشد. به همین علت، عمده‌ترین منبع تابش حرارتی امواج مادون قرمز استفاده از رشته سیم تنگستنی قرار گرفته در یک محفظه حبابی شکل شیشه‌ای است که جهت افزایش مساحت سطحی، از آن به شکل فیلامت استفاده می‌شود. معمول‌ترین منبع تابش نور مرئی و مادون قرمز با طول موج کوتاه، لامپ فیلامنت تنگستن است. فلز تنگستن دمای ذوب بسیار بالایی (تقریباً ۳۴۰۰ °C) دارد. با توجه به ضریب انبساط طولی کم آن در محدوده دمایی ۲۰(۴/۴۳ – ۷/۲۴ µm/m.K) ۲۰۰۰ °C-، لذا در برابر نرخ گرمایش و سرمایش سریع مقاومت خوبی دارد. حداکثر دمای تولید شده توسط این لامپ ۳۳۰۰ °C در طول موج تقریبی ۰/۶ µm است. ولی در بیشتر لامپ‌های فیلامنت تنگستنی، حداکثر دمای تولیدی ۲۷۰۰ °C می‌باشد. این دما، حرارت ایجاده شده بر سطح رشته سیم تنگستنی است. بنابراین میزان انرژی منتشره در محدوده مادون قرمز است. یک لامپ حرارتی فیلامنت تنگستن برای محدوده طول موج بین ۵-۰/۸ µm مفید است. لامپ‌های تنگستن/هالوژن محتوی مقدار کمی عناصر هالوژن در داخل یک پوشش کوارتز که سیم تنگستن را احاطه کرده است، می‌باشد. محفظه کوارتز بعلت دمای بالای عملیاتی در لامپ لازم می‌باشد. طول عمر یک لامپ تنگستن/هالوژن بیش از دو برابر لامپ‌های معمولی است. این عمر اضافی در نتیجه واکنش ید با تنگستن گازی است که در اثر تصعید تشکیل شده و عموماً عمر فیلامنت را محدود می‌کند. شکل ۵ نمونه‌ای از این لامپ‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۵- نمونه‌ای از لامپ حرارتی مادون قرمز با فیلامنت تنگستنی.