

تصحیح و تکمیل و ارزیابی یک روش اندازه گیری ضریب تشعشع حرارتی

دکتر رضا حسینی ابرده

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس علیرضا اهرابلو

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

در مقاله حاضر روشهای اندازه گیری ضریب تشعشع حرارتی به دو طریقه حرارت سنجی (کالریمتریک) و تشعشع سنجی (رادایومتریک) به اجمال یادآوری و تصحیحات به عمل آمده در یکی از این روشها به منظور سرعت بخشیدن به عمل اندازه گیری را ذکر و نتایج مقایسه دو روش جدید و قدیم ارزیابی گردیده است.

مقدمه

متغیر است.

در روش دیگر که در حالت پایدار حرارتی انجام می گیرد حرارت ثابتی به نمونه داده می شود و این حرارت از طریق تشعشع توسط دیواره محفظه خلاء که به وسیله یک لوله ماریپیچ که از آن آب سرد عبور می کند، احاطه شده است دریافت می گردد با نوشتن رابطه توازن انرژی بین حرارت دریافتی آب و انرژی که جسم صادر می کند می توان ضریب تشعشع را اندازه گیری نمود این رابطه را با داشتن دمای سطح نمونه و دمای ورودی و خروجی آب و دبی جرمی آن برای دو حالت مختلف حرارتی میتوان به صورت زیر خلاصه نمود [۳]

$$\epsilon = \frac{mc [(T_{in1} - T_{in2}) - (T_{out1} - T_{out2})]}{\sigma A (T_1^4 - T_2^4)}$$

در دو روش فوق معمولاً "ضریب تشعشع کلی برای تمام طول موجها و جهات (Hemispherical Total Emittance) است که اندازه گیری می شود.

۲- روشهای تشعشع سنجی (رادایومتریک): در این روشها ضریب تشعشع نسبت به یک مرجع استاندارد و برای یک طول موج و یا فاصله موج اندازه گیری شده و به وسیله انتگرالهای مناسب ضریب تشعشع کلی محاسبه می گردد.

در اندازه گیری ضرایب تشعشع حرارتی سطوح جامدات معمولاً " دو

روش کلی وجود دارد

۱- روشهای حرارت سنجی (کالریمتریک)

۲- روشهای تشعشع سنجی (رادایومتریک)

۱- روشهای کالریمتری:

اساس این روش بر مبنای توازن انرژی است. برای اندازه گیری ضریب تشعشع حرارتی یک سطح آن را تا درجه حرارت معینی گرم کرده و در یک محفظه خلاء قرار می دهند با ثبت تغییرات درجه حرارت سطح نمونه نسبت به زمان و با توجه به این که تنها مکانیسم انتقال حرارت از نمونه به محیط به صورت تشعشع می باشد می توان با محاسبه شیب منحنی سرد شدن در دو نقطه معلوم و یا اندازه گیری جرم، و با معلوم بودن گرمای ویژه و سطح نمونه از رابطه زیر ضریب تشعشع حرارتی را به دست آورد.

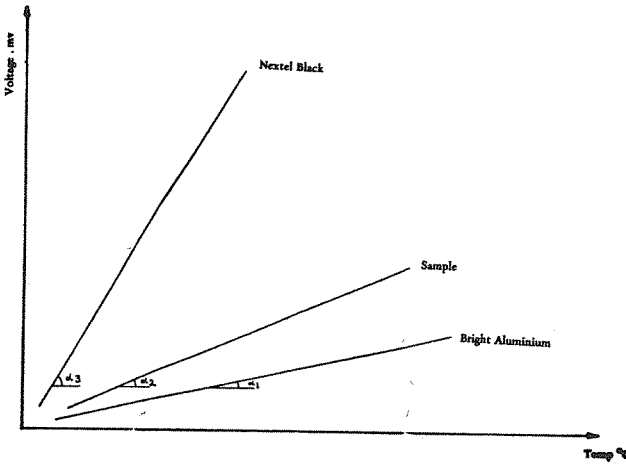
$$\epsilon = \frac{mc \left(\frac{dT}{dt} \right)_1 - mc \left(\frac{dT}{dt} \right)_2}{A\sigma (T_1^4 - T_2^4)} \quad (1)$$

در روش فوق ثابت ماندن درجه حرارت محیط در طی سرد شدن نمونه و سیاه فرض نمودن محفظه ای که نمونه را احاطه کرده است از شرایط مهم و اساسی است [۱ و ۲] این روش موسوم به Calorimetric Transient Technique می باشد زیرا که در آن درجه حرارت نمونه نسبت به زمان

تغییرات تشعشع صادر شده از سه نمونه به صورت ولتاژ ترموپیل برحسب درجه حرارت سطح نمونه اندازه‌گیری می‌شود. از آن‌جایی که ترموپیل مورد استفاده در این روش دارای منحنی خطی برای تغییرات دمایی سطح ترموپیل و ولتاژ ایجاد شده می‌باشد می‌توان چنین استنباط نمود که منحنی رسم شده برای ولتاژ ایجاد شده و دمایی سطح نمونه‌ها خطی است. شکل (۱) تغییرات ولتاژ خروجی ترموپیل بر حسب درجه حرارت سطح ۲ نمونه استاندارد (Nextel Black) و آلومینیم براق (Bright Aluminium) را که به ترتیب دارای ضریب تشعشع ۹۷٪ و ۵٪ می‌باشند به همراه یک نمونه با ضریب تشعشع نامعلوم را نشان می‌دهد.

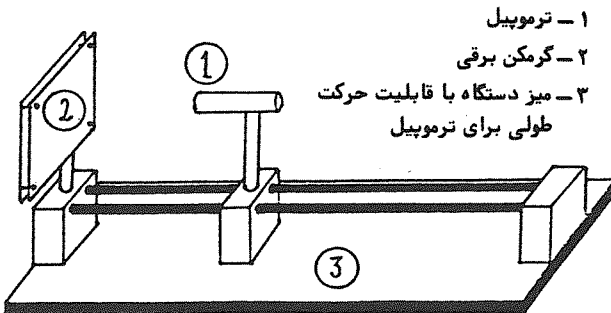
با نوشتن یک تناسب ساده و مناسب می‌توان ضریب تشعشع نمونه مجهول را پیدا نمود با توجه به شکل (۱) [به ضمیمه مراجعه شود] *

$$\epsilon_2 = (\epsilon_1 - \epsilon_3) \frac{\text{tg}\alpha_2 - \text{tg}\alpha_3}{\text{tg}\alpha_1 - \text{tg}\alpha_3} + \epsilon_3$$



شکل ۱ - تغییرات ولتاژ خروجی ترموپیل بر حسب درجه حرارت تعادل سطح نمونه

به طور نمایشی در شکل ۲ ابزار اندازه‌گیری روش فوق ملاحظه می‌شود.



شکل ۲ - شکل نمایشی دستگاه اندازه‌گیری ضریب صدور

در روشهای رادیومتریک که معمولاً "ضریب انعکاس اندازه‌گیری شده و از روی آن ضریب جذب و تشعشع سنجیده می‌شود، وسایل و دستگاههای مختلفی بکار می‌رود و بر حسب فاصله طول موج مورد انتظار و همچنین دقت لازم متفاوت خواهد بود در مراجع [۴] و [۵] عمده این روشها بررسی و تجزیه و تحلیل شده‌اند و مزایا و معایب و محدوده کاربرد و روش کار و دقت هر کدام به اجمال ذکر شده‌اند.

هر دو روش کالریمتریک و رادیومتریک نیاز به وسایل و ابزار نسبتاً دقیق و پیچیده و اغلب گران‌قیمت دارند که دسترسی بدانها برای هر پژوهشگری آسان نیست، مسأله دیگر در روشهای فوق عامل زمان است بدین طریق که برای اندازه‌گیری ضریب تشعشع هر نمونه ساعتها باید صرف‌آماده - سازی نمونه و بعد اندازه‌گیری و محاسبه نمود. یک روش نسبتاً "ساده و قابل دسترسی در روشهای اندازه‌گیری ضریب تشعشع با استفاده از سنجش تشعشع روش ارائه شده توسط Giedt می‌باشد [۶] در این روش نمونه به سطح یک گرم‌کن الکتریکی نصب شده و تشعشع حرارتی صادر شده از آن توسط یک ترموپیل دریافت می‌شود. با نوشتن رابطه بیلان انرژی بین نمونه کُشاده شده و ترموپیل می‌توان ضریب (تشعشع) کلی در جهت عمود را پیدا نمود. ترموپیل مورد استفاده در این روش از یک اتصال نقره - کنستانتان تشکیل می‌شود و در آن رابطه رابطه بین حرارت دریافت شده و ولتاژ ایجاد شده خطی می‌باشد.

برای نوشتن رابطه بیلان انرژی در وهله اول باید ضریب شکلی بین سطح ترموپیل و نمونه را یافت زیرنویس ۱ مربوط به ترموپیل و زیرنویس ۲ مربوط به نمونه می‌باشد در این صورت

$$F_{1-2} = \frac{1}{\Delta A_1 \pi} \int_{A_1} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2 \Delta A_1}{S^2} dA_2 = \frac{r_1^2}{r_1^2 + l^2} \quad (3)$$

با فرض این که ترموپیل و اتصال گرم‌کن آن در دمایی محیط T_R باشند رابطه بیلان انرژی چنین خواهد شد.

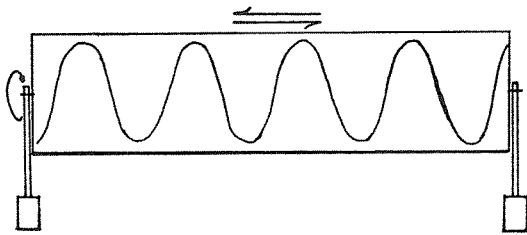
$$\Delta A_1 K(mv) = [T_2^4 \epsilon_2 + T_R^4 (1 - \epsilon_2)] \sigma F_{21} A_2 - F_{12} \Delta A_1 \sigma T_R^4 \quad (4)$$

با توجه به اصل تقابل $A_2 F_{21} = \Delta A_1 F_{12}$ خواهیم داشت

$$\epsilon_2 = \frac{K(mv)}{F_{12} \sigma (T_2^4 - T_R^4)} \quad (5)$$

K ثابت ترموپیل می‌باشد که واحد آن با توجه به دستگاه واحدها $\frac{Btu}{m^2 \cdot mv}$ و یا $\frac{Watt}{m^2 \cdot mv}$ می‌باشد. روش دیگری که برای اندازه‌گیری ضریب تشعشع مورد استفاده قرار می‌گیرد (و اساس آن - نشاءت گرفته از روش فوق است) و از نظر وسایل آزمایشی بسیار ساده و ضمناً "در حد قابل قبولی جوابهای آن قابل بررسی است روش مقایسه‌ای است [۲].

در این روش به کمک دو نمونه استاندارد که ضریب تشعشع آنها معلوم است ضریب تشعشع نمونه مورد نظر به دست می‌آید، بدین منظور



شکل ۳ - شمای تصحیح شده گرم کن الکتریکی به همراه قابلیت تحرک و توزیع المان الکتریکی آن .

فرض اصلی در این روش ثابت بودن ضریب تشعشع نسبت به درجه حرارت بوده و ثابت نگهداشتن شرایط هندسی نظیر فاصله ترموپیل و زاویه آن نسبت به نمونه و یکسان بودن شرایط محیطی نظیر درجه حرارت و ضریب جابجایی گرمایی برای هر سه نمونه است .
عیب اساسی در روش فوق ضمن سادگی و عملی بودن اندازه گیری مدت زمان زیادی است که باید برای هر نمونه صرف نمود چرا که ثبت ولتاژ خروجی ترموپیل بر حسب درجه حرارت نمونه در درجه حرارت های مختلف و اطمینان از شرط پایداری و ثبات درجه حرارت نمونه و ولتاژ مستلزم ساعتها وقت است .

تصحیح و تکمیل

که هم امکان حرکت عرضی در مقابل ترموپیل را دارد و هم دارای حرکت دورانی است به طریقی که می توان با حرکت دورانی و عرضی گرم کن در هر لحظه یک نمونه را در مقابل ترموپیل قرار داد و خروجی ولتاژ ترموپیل را به ازاء درجه حرارت نمونه که همزمان اندازه گیری می شود به دست آورد بدین طریق در عرض چند دقیقه تشعشع نسبی چند نمونه (حداقل ۶) نسبت به دو نمونه استاندارد سنجیده می شود .

به منظور ثابت نگهداشتن درجه حرارت مرجع در ترموپیل یک جریان آب مداوم با کنترل درجه حرارت ، درجه حرارت مرجع را ثابت نگه داشته و از ایجاد خطا در خروجی ترموپیل به علت بالا رفتن درجه حرارت مرجع جلوگیری می کند .

ضمن این که این عمل به علت خنک تر بودن آب از درجه حرارت محیط باعث حساسیت قابل توجهی نیز در ترموپیل شده است . شکل (۴) به طور نمایشی وضعیت وسایل اندازه گیری را نشان می دهد .

با توجه به توضیح فوق در مورد اندازه گیری ضریب تشعشع با استفاده از مقایسه و برای رفع نقیصه طولانی بودن زمان اندازه گیری تصحیحاتی در روش فوق به عمل آمد که به ذکر آن پرداخته می شود . ابتدا یک گرم کن الکتریکی بزرگتر با قابلیت نصب همزمان ۸ نمونه در طرفین آن آماده شد و عمده تلاش در ساخت این گرم کن مصروف این موضوع گردید که دمای یکسانی در تمام نقاط گرم کن و در طرفین آن به ازاء یک ولتاژ معین ایجاد گردد این سعی موفقیت آمیز بود و با اختیار صفحات فلزی مسی و توزیع مناسب مقاومت الکتریکی در بین صفحات فلزی توزیع دمای یکسانی ایجاد شد به گونه ای که در تمام سطح گرم کن و در طرفین آن اختلاف دما کمتر از یک درجه حرارت به ازاء یک ولتاژ معین ملاحظه شد . ابعاد گرم کن و ملاحظات اعمال شده به طور نمایشی در شکل (۳) دیده می شود . گرم کن در روی پایه نصب می شود و به گونه ای

ضمیمه مربوط به رابطه (۶) به داخل مقاله مراجعه شود .

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_3} = \frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_3} \Rightarrow \frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_3} = \frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_3}{\text{tg } \alpha_3} \quad (1)$$

$$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_3} = \frac{\text{tg } \alpha_2}{\text{tg } \alpha_3} \Rightarrow \frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\epsilon_3} = \frac{\text{tg } \alpha_2 - \text{tg } \alpha_3}{\text{tg } \alpha_3} \quad (2)$$

در تقسیم دو رابطه ۱ و ۲ برهم

$$\frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_2 - \epsilon_3} = \frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_3}{\text{tg } \alpha_2 - \text{tg } \alpha_3} \quad \epsilon_2 = (\epsilon_1 - \epsilon_3) \frac{\text{tg } \alpha_2 - \text{tg } \alpha_3}{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_3} + \epsilon_3$$

در روابط فوق ϵ_1 و ϵ_3 ضرایب تشعشع دو نمونه استاندارد آلومینیم براق و جسم سیاه (رنگ سیاه NEXTEL) است که بترتیب دارای ضرایب تشعشع ۰/۹۷۵۰/۰۵ می باشند و ϵ ضریب تشعشع نمونه مجهول است که با استفاده از شیب خطوط و در ضریب تشعشع معلوم می توان آنرا پیدا نمود برای نمونه مجهول باید خط مشابهی را در شکل (۱) با استفاده از ترموپیل و درجه حرارت نمونه ترسیم نمود .

با توجه به آنکه تمام شرایط برای دریافت تشعشع متوسط ترموپیل از نمونه ها یکسان است بدین معنی که ضریب شکلی ضریب جابجایی گرمایی و سایر عوامل محیطی کاملاً " یکسان است بنا براین تنها اختلاف در وجود میزان تشعشع دریافتی توسط ترموپیل ناشی از اختلاف در ضریب تشعشع است . از طرف دیگر ترموپیل بوسیله تشعشع دریافتی از نمونه ها داغ شده و ولتاژی را متناسب - اختلاف دمای دو طرف خودش ایجاد می کند که هر چه قدر تشعشع از نمونه ها بیشتر باشد سطح طرف نمونه ترموپیل داغتر شده و بالنتیجه اختلاف دما بیشتر می گردد و به تناسب ولتاژ تولید شده نیز افزایش می یابد . در شکل ۱ چگونگی تغییرات ولتاژ تولید شده توسط ترموپیل بر حسب درجه حرارت نمونه ها دیده می شود ملاحظه می گردد که بازاء یک درجه حرارت معین ولتاژ ایجاد شده توسط ترموپیل در نمونه های مختلف ، متفاوت است (در حالیکه درجه حرارت نمونه و کلیه عوامل دیگر یکسان است) بالنتیجه می توان گفت که تنها عامل ایجاد اختلاف ، تفاوت در ضریب تشعشع نمونه ها است و لذا ضریب زاویه خطوط شکل ۱ متناسب با ضرایب نمونه ها است و بنابراین می توان نوشت .

ولتاژ ائو ترانس گرم کن شماره و مشخصات نمونه		۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	εg α	Emissivity
آلومینیوم برای شماره ۲	°C	۶۴/۹	۸۲/۷	۱۰۲/۸	۱۲۵/۶	۰/۰۰۶۴	۰/۰۵
	mv	۰/۸	۰/۸۵	۱/۲	۱/۱۵		
۹ با شماره‌های عمودی برنز	°C	۵۹	۷۶/۷	۹۶/۳	۱۱۰	۰/۰۱۱	۰/۱۳۵
	mv	۰/۸۵	۱/۰۰	۱/۲۵	۱/۳		
۱۲ با شماره‌های افقی مس	°C	۵۹	۷۲/۸	۹۳/۵	۱۱۲/۸	۰/۰۱۲۲	۰/۱۰۷
	mv	۰/۹۵	۱/۳۳	۱/۵	۱/۷		
۱۶ با شماره‌های عمودی آلومینیم	°C	۶۷	۸۱	۱۰۷	۱۱۷	۰/۰۰۷۷	۰/۰۷۲
	mv	۰/۱۵	۱/۱۳	۱/۲۵	۱/۳		
۱۸ با شماره‌های عمودی آهن کالوآینزه	°C	۵۳/۶	۷۵/۴	۸۳/۳	۱/۷	۰/۰۱۳	۰/۱۷۱
	mv	۰/۹	۱/۲	۱/۳	۱/۶		
۱۴ با شماره‌های عمودی آهن سفید	°C	۵۲/۱	۷۲	۸۲/۱	۱۰۲/۷	۰/۰۱۲۱	۰/۱۹۲
	mv	۰/۸۵	۱/۲۵	۱/۳	۱/۶۵		
۷ خاکستری رنگ آهن سفید	°C	۵۰/۷	۶۲/۵	۷۱/۴	۸۷/۸	۰/۰۲۷۵	۰/۸۰۶
	mv	۱/۹	۲/۶۵	۳/۰۰	۳/۷		
نمونه سیاه "Nextel Black"	°C	۴۷/۸	۵۷/۳	۶۶/۸	۸۰/۳	۰/۰۵۵۰	۰/۹۵
	mv	۱/۹	۲/۷۵	۳/۲	۳/۷۵		

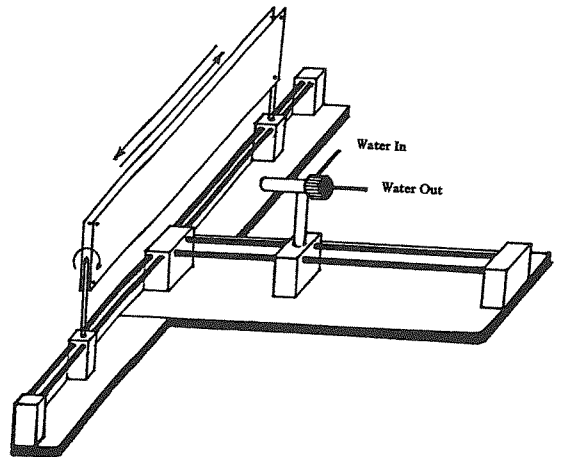
ملاحظات:

۱ - فاصله ترموپیل از سطح نمونه ۱۰ میلیمتر

۲ - دمای سطح مرجع ترموپیل ۲۵°C

جدول ۱ - مقادیر ولتاژ خروجی ترموپیل برای نمونه‌های مختلف در درجه حرارت‌های مختلف

و سریع برای چند نمونه دیده می‌شود دقت در مقادیر داده شده نشان می‌دهد که این دو اندازه‌گیری تنها در حدود ۲٪ با هم اختلاف دارند اما این که کدامیک دقیق‌ترند احتیاج به بررسی بیشتر دارد و لازم است که با استفاده از متدهای ذکر شده در بالا که مقادیر مطلق را می‌دهند چند نمونه اندازه‌گیری شده و سپس نتایج با مقادیری که از این طریق اندازه‌گیری می‌شود مقایسه گردد تا دقت هر کدام مشخص شود که کار بعدی در دست مطالعه است.



شکل ۴ - شمای نمایشی دستگاه تصحیح شده اندازه‌گیری ضریب صدور.

روش اندازه‌گیری

نمونه‌هایی که لازم است ضریب تشعشع آنها اندازه‌گیری شود به همراه دو نمونه استاندارد روی گرم کن نصب شده و ولتاژ مناسبی در دو سر مقاومت حرارتی برقرار می‌شود ولتاژ متفاوت بدین خاطر انتخاب می‌گردد تا بتوان درجه حرارت‌های متفاوتی برای گرم‌کن و بالنتیجه برای هر نمونه در هر ولتاژی تهیه نمود. آب خنک‌کن ترموپیل همزمان به جریان انداخته می‌شود و ترموکوپل اندازه‌گیری درجه حرارت نیز روشن می‌شود در زمانی که درجه حرارت گرم‌کن و همچنین ولتاژ ترموپیل ثابت باقی ماند با ثبت درجه حرارت و توجه به تغییرات احتمالی آن، ولتاژ خروجی ترموپیل برای نمونه‌های استاندارد و نمونه‌های مجهول به ازاء این درجه حرارت قرائت و ثبت می‌گردد به ازاء ولتاژ دیگر و در نتیجه درجه حرارت تعادل دیگری این مقادیر مجدداً قرائت و ثبت می‌شود و این کار اگر چه تنها یکبار کافی است اما به خاطر اطمینان می‌توان برای درجه حرارت‌های مختلف تکرار نمود جدول ۱ مقادیر ولتاژ خروجی ترموپیل برای نمونه‌های مختلف را در درجه حرارت‌های مختلف نشان می‌دهد.

علاوه بر این در این جدول اطلاعاتی راجع به شرایط سطوح و مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب تشعشع دیده می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

روش ارائه شده ضمن این که از دقت لازم در مقام مقایسه با روش طولانی برخوردار است زمان اندازه‌گیری هر نمونه را حداقل به $\frac{1}{18}$ کاهش داده و از این بابت وقت زیادی را صرفه‌جویی می‌نماید ضمن این که در انرژی مصرفی در گرم‌کن نیز صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای انجام خواهد گرفت در جدول ۲ مقادیر اندازه‌گیری شده از روش طولانی

شماره مشخصات نمونه	ضریب صدور نمونه از روش آرام	ضریب صدور نمونه از روش سریع
۳۵ با شیارهای عمودی	۰/۳۰۱	۰/۲۸۳
۳۴ با شیارهای افقی	۰/۳۴	۰/۳۶
۱۴ با شیارهای افقی	۰/۲۴۳	۰/۲۶
۷ خاکستری رنگ	۰/۷۹	۰/۸۰۶
۱۶ با شیارهای عمودی	۰/۰۷	۰/۰۷۴
۱۴ با شیارهای عمودی	۰/۱۸	۰/۱۹۲

جدول ۲ - جدول مقایسه ضریب به دست آمده از دوروش سریع و آرام

منابع

- 1- NYLAND, T.W. "Measurement of Thermal Radiation properties of Solids" Apparatus for the measurement of hemispherical emittance from 270 to 650^K, NASA Research Center, Cleveland, OHIO 1963, pp 393 - 401.
- 2- R. Hosseini "Investigation of Molybdenum Black and other Coating with reference to thermal Conversion of Solar Energy" Ph.D. Thes., Brunel University Uxbridge, Middex, England, 1981 pp 35 - 40.
- 3- BUTLER, C.P., JENKINS, R.Y. "Measurement of Physical Properties of Solids", Space Chamber Emittance Measurement "U.S. Naval Radiological Defence Lab., Sanfrancisco, California, 1963, PP 39 - 43.
- 4- DEWITH, D.P. RICHMOND J.C. " Measurement of Physical Properties of Metals, Some Special Properties " Editted by E. Passaglia, Vol 6 Part 1 Interscience Publication 1972
- 5- TULOUKIAN, Thermal Radiation Properties of Metallic Elements and Alloys Theory, Estimation and Measurements" Vol. 7 p(1-47) also in measurements of physical properties of metal: Some special properties edited by E Passaglia, Interscience Pubication 1972
- 6- GIEDT W H. "Principles of Engineering Heat Transfer" D. Van Nostrand Camp 1957 PP. 268-272