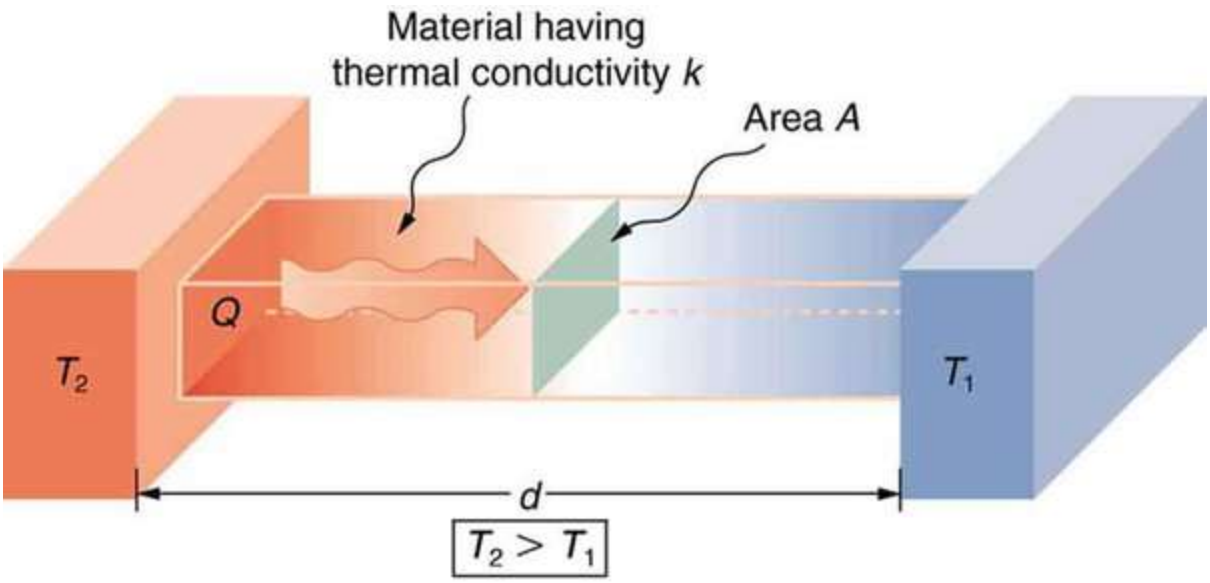
هدایت حرارتی فلزات: چگونه گرما از طریق مواد مختلف جریان می یابد



خرداد۱۴۰۳ نوشته شده توسط داوود سلیانچی

رسانایی حرارتی خاصیتی است که اندازه گیری می کند که چگونه یک ماده می تواند گرما را از یک نقطه به نقطه دیگر بدون جابجایی خود ماده منتقل کند. این به عواملی مانند ساختار، ترکیب و دمای مواد بستگی دارد. در این مقاله به رسانایی حرارتی فلزات می پردازیم که جامداتی با رسانایی الکتریکی و حرارتی بالا و چگالی بالا هستند.

$$\frac{\triangle Q}{A\triangle t} = J = -K\frac{dT}{dx}$$

فلز چیست؟

فلز به عنوان ماده جامدی تعریف می شود که ساختار بلوری دارد، جایی که اتم ها در یک الگوی منظم قرار گرفته اند. اتم ها از هسته هایی با پوسته های اطراف خود از الکترون های هسته تشکیل شده اند که به طور محکم به هسته ها متصل هستند. با این حال، برخی از بیرونی‌ترین الکترون‌ها آزادانه در سرتاسر فلز حرکت می‌کنند و دریایی از الکترون‌ها را تشکیل می‌دهند که می‌توانند جریان الکتریکی و انرژی گرمایی را حمل کنند.

فلزات دارای خواص مفید بسیاری مانند استحکام بالا، شکل پذیری، چکش خواری، درخشندگی و بازتاب پذیری هستند . آنها همچنین رسانای خوبی برای الکتریسیته و گرما هستند، به این معنی که می توانند این اشکال انرژی را به طور موثر و سریع انتقال دهند.

چگونه انتقال حرارت در فلزات انجام می شود؟

انتقال حرارت فرآیند انتقال انرژی حرارتی از ناحیه ای با دمای بالاتر به منطقه ای با دمای پایین تر است. سه حالت اصلی انتقال حرارت وجود دارد: هدایت، همرفت و تابش.

رسانایی حالت انتقال حرارت است که در جامدات اتفاق می افتد، جایی که گرما از طریق تماس مستقیم بین اتم ها یا مولکول ها جریان می یابد. همرفت حالت انتقال حرارت است که در سیالات (مایعات یا گازها) اتفاق می افتد، جایی که گرما از طریق حرکت ذرات سیال جریان می یابد. تابش حالت انتقال حرارت است که از طریق امواج الکترومغناطیسی مانند نور یا تابش مادون قرمز رخ می دهد.

در فلزات، انتقال حرارت عمدتاً با رسانایی صورت می‌گیرد، زیرا فلزات جامد هستند و الکترون‌های آزاد زیادی دارند. الکترون های آزاد می توانند به طور تصادفی در سراسر فلز حرکت کنند و با الکترون ها یا اتم های دیگر برخورد کنند و

انرژی جنبشی و انرژی حرارتی را منتقل کنند. هر چه یک فلز الکترون آزاد بیشتری داشته باشد، رسانایی حرارتی آن بیشتر است.

چه عواملی بر هدایت حرارتی فلزات تأثیر می گذارد؟

هدایت حرارتی فلزات به عوامل مختلفی بستگی دارد، مانند:

- **نوع و تعداد الکترون‌های آزاد:** فلزاتی که الکترون‌های آزاد بیشتری دارند، رسانایی گرمایی بیشتری دارند، زیرا می‌توانند انرژی گرمایی بیشتری را حمل کنند. به عنوان مثال، نقره بالاترین رسانایی حرارتی را در بین فلزات دارد و پس از آن مس و طلا قرار دارند.
- **جرم و اندازه اتمی:** فلزات با اتم‌های سنگین‌تر و بزرگ‌تر، رسانایی حرارتی کمتری دارند، زیرا آهسته‌تر می‌لرزند و مانع حرکت الکترون‌های آزاد می‌شوند. به عنوان مثال، سرب دارای رسانایی حرارتی پایینی در بین فلزات است.
- **ساختار بلوری و عیوب:** فلزات با ساختار بلوری منظم تر و فشرده تر، رسانایی حرارتی بالاتری دارند زیرا مقاومت کمتری در برابر جریان الکترون دارند . به عنوان مثال، فلزات با ساختار مکعبی رسانایی حرارتی بالاتری نسبت به فلزات با ساختار شش ضلعی دارند. نقص هایی مانند ناخالصی ها، جاهای خالی یا جابجایی ها نیز می توانند رسانایی حرارتی فلزات را با پراکندگی الکترون ها کاهش دهند.
- **دما:** رسانایی حرارتی فلزات بسته به مکانیسم غالب انتقال حرارت به روش های مختلف با دما تغییر می کند. برای فلزات و آلیاژهای خالص، انتقال حرارت عمدتاً به دلیل الکترون های آزاد (رسانایی الکترونیکی) است. با افزایش دما، تعداد الکترون های آزاد و ارتعاشات شبکه افزایش می یابد. بنابراین رسانایی حرارتی فلزات با افزایش دما اندکی کاهش می یابد. برای عایق ها و نیمه هادی ها، انتقال حرارت عمدتاً به دلیل ارتعاشات شبکه (رسانایی آوایی) است. با افزایش دما، ارتعاشات شبکه به طور قابل توجهی افزایش می یابد و الکترون ها را بیشتر پراکنده می کند. بنابراین هدایت حرارتی عایق ها و نیمه هادی ها با افزایش دما به سرعت افزایش می یابد.

قانون Wiedemann-Franz چیست؟

قانون **وایدمان-فرانتس** (Wiedemann-Franz Law)رابطه‌ای بین **رسانش گرمایی** و **رسانش الکتریکی** یک فلز در دمای مطلق (K) برقرار می‌کند .به بیان دیگر، این قانون نسبت رسانش گرمایی به رسانش الکتریکی را با ثابت لورنتز (L) که به دما وابسته است، متناسب می‌داند (۱) .

قانون Wiedemann-Franz رابطه ای است که رسانایی الکتریکی و هدایت حرارتی فلزات را در یک دمای معین به هم متصل می کند. بیان می کند که:

$$\sigma$$

sk=LT

جایی که،

- K رسانایی گرمایی بر حسب W/mK است
- σ رسانایی الکتریکی بر حسب S/m است
- L عدد لورنز است که ثابت برابر با ۲,٤٤ X 10^-8 W- Ohm /K^2 است.
- T دمای مطلق بر حسب K است

این قانون نشان می‌دهد که فلزاتی که رسانایی الکتریکی بالایی دارند، رسانایی گرمایی بالایی نیز دارند زیرا هر دو ویژگی به الکترون‌های آزاد بستگی دارند. همچنین بیانگر این است که نسبت هدایت حرارتی به هدایت الکتریکی با دمای فلزات متناسب است.

اما این قانون محدودیت هایی دارد. این فقط برای فلزات و آلیاژهای خالص در دماهای بسیار بالا یا بسیار پایین کاربرد دارد. این در مورد عایق ها یا نیمه هادی ها، که در آن هادی صوتی بر رسانایی الکترونیکی غالب است، اعمال نمی شود. همچنین برای برخی از فلزات مانند بریلیم یا نقره خالص که از این موضوع منحرف می‌شوند، کاربرد ندارد.

$$\frac{K}{\sigma}$$

مقادیر رسانایی حرارتی برخی از فلزات رایج چیست؟

رسانایی حرارتی فلزات بسته به نوع و خلوص فلز بسیار متفاوت است. جدول زیر چند نمونه از مقادیر رسانایی حرارتی برای برخی فلزات رایج در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتیگراد) را نشان می دهد.

$$\frac{K}{\sigma} = LT$$

فلز	هدایت حرارتی(W/mK)
نقره	٤٢٩
فلز مس	٣٩٨
طلا	٣١٥
آلومینیوم	٢٣٧
اهن	٨٠
رهبری	٣٥

همانطور که می بینیم نقره بالاترین رسانایی حرارتی را در بین فلزات دارد و پس از آن مس و طلا قرار دارند. این فلزات به طور گسترده در کاربردهای الکترونیکی و الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا می توانند گرما و برق را به طور موثر انتقال دهند. از طرفی سرب کمترین رسانایی حرارتی را در بین فلزات دارد که آن را برای مصارف عایق کاری و محافظ مناسب می کند.

رسانایی حرارتی فلزات نیز می تواند با دما، فشار، ترکیب و ساختار تغییر کند. به عنوان مثال، آلیاژها (مخلوط فلزات) معمولاً به دلیل وجود ناخالصی ها و نقص هایی که الکترون ها را پراکنده می کنند، هدایت حرارتی کمتری نسبت به فلزات خالص دارند. به طور مشابه، فلزات با ساختار یا فازهای کریستالی متفاوت می توانند مقادیر هدایت حرارتی متفاوتی داشته باشند.

چگونه رسانایی حرارتی فلزات را اندازه گیری کنیم؟

روش ها و ابزارهای مختلفی برای اندازه گیری رسانایی حرارتی فلزات بسته به شکل، اندازه و دمای نمونه وجود دارد. برخی از روش های رایج عبارتند از:

$$L = 2.54 \times 10^{-8} W\Omega/K^2,\ Lorentz\ number\ (a\ constant)$$

- **روش‌های حالت پایدار:** این روش‌ها شامل اعمال یک شار حرارتی ثابت به یک طرف نمونه و اندازه‌گیری اختلاف دمای حاصله در سراسر نمونه است. رسانایی حرارتی را می توان با استفاده از قانون هدایت حرارتی فوریه محاسبه کرد. نمونه‌هایی از روش‌های حالت پایدار عبارتند از صفحه داغ محافظ، جریان سنج حرارتی و نوار تقسیم‌شده.
- **روش های گذرا:** این روش ها شامل اعمال یک پالس کوتاه گرما به یک طرف نمونه و اندازه گیری تغییر دمای حاصله در طول زمان در همان سمت یا طرف مقابل نمونه است. هدایت حرارتی را می توان با استفاده از مدل های تحلیلی یا عددی انتقال حرارت محاسبه کرد. نمونه هایی از روش های گذرا عبارتند از سیم داغ، فلاش لیزر و منبع صفحه گذرا.
- **روش‌های غیر تماسی:** این روش‌ها شامل استفاده از منبع گرما یا حسگر دما است که نمونه را لمس نمی‌کند، بلکه از تابش الکترومغناطیسی یا امواج صوتی برای القا یا تشخیص انتقال حرارت استفاده می‌کند. هدایت حرارتی را می توان با استفاده از خواص نوری یا صوتی نمونه محاسبه کرد. نمونه‌هایی از روش‌های غیر تماسی عبارتند از :رادیومتری فتوترمال ، تصویربرداری امواج حرارتی، و دماسنجی اولتراسوند.

هر روش بسته به دقت، دقت، سرعت، هزینه و کاربرد اندازه گیری مزایا و محدودیت های خاص خود را دارد. بنابراین، انتخاب روش و ابزار مناسب برای هر مورد خاص مهم است.

چرا رسانایی حرارتی فلزات مهم است؟

هدایت حرارتی فلزات برای بسیاری از کاربردهای مهندسی و علمی مهم است، مانند:

- **مبدل های حرارتی:** دستگاه هایی هستند که حرارت را بین دو یا چند سیال یا جامد بدون اختلاط آن ها انتقال می دهند. آنها به طور گسترده در صنایعی مانند تولید برق، فرآوری شیمیایی، تبرید و تهویه مطبوع استفاده می شوند. هدایت حرارتی فلزات بر راندمان و عملکرد مبدل های حرارتی تأثیر می گذارد، زیرا تعیین می کند که با چه سرعتی و چه مقدار گرما می توان انتقال داد.
- **مدیریت حرارتی:** این فرآیند کنترل دما و اتلاف گرما دستگاه ها یا سیستم هایی است که گرما تولید یا مصرف می کنند. برای اطمینان از قابلیت اطمینان و ایمنی قطعات الکترونیکی، باتری ها، موتورها، راکتورها و فضاپیماها ضروری است. رسانایی حرارتی فلزات بر طراحی و انتخاب مواد و اجزاء برای مدیریت حرارتی تأثیر می گذارد، زیرا تعیین می کند که آنها چقدر می توانند گرما را هدایت یا عایق کنند.
- **دستگاه های ترموالکتریک :** دستگاه هایی هستند که با استفاده از اثر Seebeck یا اثر Peltier گرما را به الکتریسیته یا برعکس تبدیل می کنند (۲). آنها برای کاربردهایی مانند تولید برق، سرمایش، گرمایش و سنجش استفاده می شوند. رسانایی حرارتی فلزات بر کارایی و عملکرد دستگاه های ترموالکتریک تأثیر می گذارد، زیرا تعیین می کند که در طول فرآیند تبدیل چه مقدار گرما از دست می رود یا به دست می آید.

نتیجه

رسانایی حرارتی خاصیتی است که اندازه گیری می کند که یک ماده چقدر می تواند گرما را بدون حرکت خودش منتقل کند. فلزات جامداتی با رسانایی الکتریکی و حرارتی بالا هستند که به الکترون های آزاد در ساختار آنها بستگی دارد. رسانایی حرارتی فلزات با عواملی مانند نوع، خلوص، دما، فشار، ترکیب و ساختار متفاوت است. روش ها و ابزارهای مختلفی برای اندازه گیری رسانایی حرارتی فلزات بسته به شکل، اندازه و دمای نمونه وجود دارد. رسانایی حرارتی فلزات برای بسیاری از کاربردهای مهندسی و علمی مانند مبدل های حرارتی، مدیریت حرارتی و دستگاه های ترموالکتریک مهم است.

پاورقی

۱- قانون **وایدمان-فرانتس** (Wiedemann-Franz Law) رابطه‌ای بین **رسانش گرمایی** و **رسانش الکتریکی** یک فلز در دمای مطلق (K) برقرار می‌کند. به بیان دیگر، این قانون نسبت رسانش گرمایی به رسانش الکتریکی را با ثابت لورنتز (L) که به دما وابسته است، متناسب می‌داند.

رابطه ریاضی آن به صورت زیر است:

$$ frac{\kappa}{\sigma} = LT\ $$

که در آن:

- κ (kappa) رسانش گرمایی (W/m·K)
- σ (sigma) رسانش الکتریکی (S/m)
- L ثابت لورنتز (V^2/K^2)
- T دمای مطلق (K)

به‌طور خلاصه، قانون وایدمان-فرانتس بیان می‌کند که در فلزات، **رسانش گرمایی با رسانش الکتریکی آن‌ها در دمای ثابت متناسب است**. این بدان معنی است که هرچه یک فلز رسانای الکتریکی بهتری باشد، رسانای گرمایی بهتری نیز خواهد بود.

نکات مهم در مورد قانون وایدمان-فرانتس:

- این قانون برای فلزات در دمای بالا (بالاتر از دمای دِبی) صادق است.
- ثابت لورنتز (L) با دما تغییر می‌کند، اما مقدار آن برای اکثر فلزات در محدوده دمای عملیاتی تقریباً ثابت است.
- این قانون برای نیمه‌هادی‌ها و ابررساناها کاربرد ندارد.

۲ - دستگاه‌های ترموالکتریک از دو پدیده فیزیکی به نام‌های **اثر Seebeck** و **اثر Peltier** برای تبدیل گرما به الکتریسیته یا بالعکس استفاده می‌کنند.

اثر Seebeck:

- در این اثر، اختلاف دما در یک ماده رسانا (مانند نیمه‌رسانا یا فلز) باعث ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌شود. به عبارت دیگر، اگر دو سر یک ماده ترموالکتریک در دماهای مختلف قرار بگیرند، جریانی از الکترون‌ها بین دو سر آن ایجاد می‌شود که می‌توان از آن برای تولید برق استفاده کرد.

اثر Peltier:

- در این اثر، اعمال جریان الکتریکی به یک ماده ترموالکتریک، باعث ایجاد اختلاف دما در آن می‌شود. به عبارت دیگر، اگر جریان الکتریکی از یک ماده ترموالکتریک عبور کند، یک سمت آن گرم و سمت دیگر آن سرد می‌شود.

کاربردهای دستگاه‌های ترموالکتریک:

- **تولید برق:** از دستگاه‌های ترموالکتریک می‌توان برای تولید برق در مقیاس کوچک، مانند منبع تغذیه برای دستگاه‌های الکترونیکی کوچک استفاده کرد.
- **کنترل دما:** از این دستگاه‌ها می‌توان برای خنک کردن یا گرم کردن اشیاء با دقت بالا استفاده کرد. به عنوان مثال، در دستگاه‌های خنک کننده لیزری و دوربین‌های مادون قرمز کاربرد دارند.
- **حسگر دما:** از دستگاه‌های ترموالکتریک می‌توان برای اندازه‌گیری دقیق دما استفاده کرد.
- **پمپ‌های مایع:** از این دستگاه‌ها می‌توان برای پمپاژ مایعات با استفاده از نیروی الکتریکی استفاده کرد.

مزایای دستگاه‌های ترموالکتریک:

- **بدون قطعات متحرک:** این دستگاه‌ها هیچ قطعه متحرکی ندارند، بنابراین بسیار قابل اعتماد و بادوام هستند.
- **عملکرد بدون صدا:** این دستگاه‌ها در حین کار هیچ صدایی تولید نمی‌کنند، بنابراین برای استفاده در محیط‌های حساس به صدا مناسب هستند.
- **اندازه و وزن کم:** این دستگاه‌ها معمولاً کوچک و سبک هستند، بنابراین می‌توان از آنها در فضاهای محدود استفاده کرد.
- **قابلیت انعطاف‌پذیری:** این دستگاه‌ها را می‌توان به صورت سفارشی برای کاربردهای مختلف طراحی و ساخت.

معایب دستگاه‌های ترموالکتریک:

- **راندمان پایین:** راندمان تبدیل انرژی در این دستگاه‌ها نسبتاً پایین است.
- **هزینه بالا:** این دستگاه‌ها در مقایسه با سایر روش‌های تولید برق یا کنترل دما، گران‌تر هستند.
- **نیاز به منبع تغذیه پایدار:** برای عملکرد صحیح این دستگاه‌ها به یک منبع تغذیه پایدار و با ولتاژ و جریان دقیق نیاز است.

در مجموع، دستگاه‌های ترموالکتریک دستگاه‌های مفیدی هستند که می‌توان از آنها در طیف وسیعی از کاربردها استفاده کرد. با وجود برخی از معایب، مزایای این دستگاه‌ها، مانند قابلیت اطمینان، عملکرد بدون صدا و اندازه و وزن کم، آنها را به گزینه مناسبی برای بسیاری از کاربردها تبدیل می‌کند.