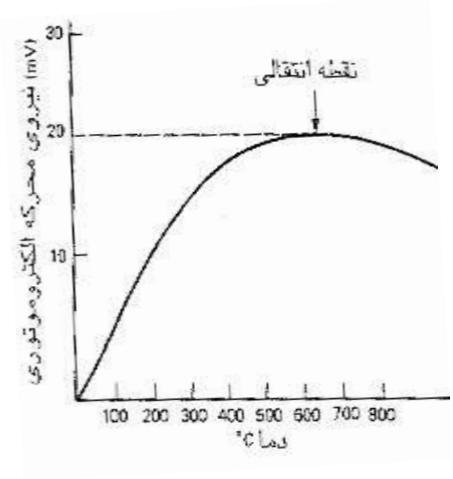
8)ترموکوپل

از ترموکوپل همواره به عنوان عنصر حس کننده درسسنور حرارتی و یا سویچ حرارتی استفاده میکنند . اصول کاری ترموکوپل براساس دو فلز غیر مشابه است که بین آنها نقطه اتصال کوچکی ایجاد شده و با تغییر دمای محیط پتانسیل نقطه اتصال تغییر می کند . پتانسیل نقطه اتصال برای یک نقطه اتصال قابل اندازه گیری نسیت ، اما زمانی که دو نقطه اتصال در یک مدار قرار گیرند بطوری که هریک از دو نقطه اتصال در دمای متفاوت با دیگری قرار داشته باشد ، آنگاه ولتاژی درحد چند میلی ولت بین آن دو نقطه ایجاد می شود . در صورتی که دو نقطه اتصال درمحیطی با دمای یکسان قرار داشته باشند ولتاژ بین دونقطه اتصال صفر خواهد بود و با افزایش دمای یکی از دو نقطه اتصال نسبت به دیگری والتاژ مزبور افزایش خواهد یافت تا این که به مقدار نهایی ولتاژ برسد .شکل رو به رو نشان میدهد که ترموکوپل به دلیل رفتار غیر خطی مشخصه حالت معکوسی که دردما های بالاترازنقطه بازگشت برای مشخصه پیش می آید تنها درفاصله محدودی دارای کار برد مفید است .



8-1) اصول ترموکوپل

اثر سِیبک : در حوالی ۱۸۲۱ ، سیبک در حین مطالعهٔ اثرهای الکترومغناطیسی فلزات ، وجود مدارهای گرما برقی را مشاهده کرد . او پی برد با هم بستن سرهای دو سیم فلزی ناهمسان به یک دیگر مدار بسته ای تشکیل می شود ، که در صورت وجود اختلاف دما بین اتصال های دو سر ، در مدار جریان الکتریکی برقرار می شود .

Seebeck effect اثر سی بک

اثر سی بک از نطر تئوری بیانگر معادله EMF رو برو است : $E = a + b\theta + c\theta^a$

در این معادله a وb وc ثابتهایی هستند که به نوع فلزات به کار رفته در ترموکوپل بستگی دارد وθ اختلاف دمای بین آنهاست . اگر اتصال نقطه سرد $0\ ^{\circ}C$ نگهداشته شود ، آنگاه معادله EMF خواهد شد :

$$E = \alpha T^2 + Bt$$

که در آن α وβ ثابتهای اندازه گیری شده برای زوج فلزهای هستند و T اختلاف دما می باشد . در دمای پایین تر از دمای نقطه انتقالی مقدار α معمولاً کوچک است ، به طوری که EMF تقریباً به طورمستقیم متناسب با اختلاف دماست .

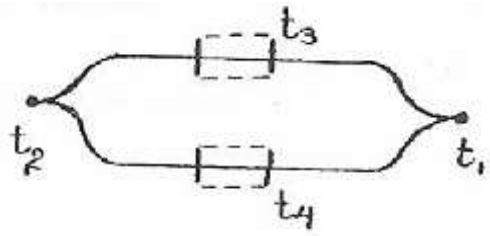
اثر پلیته : ژان پلیته (۱۸۳٤) در یافت هنگامی که جریان الکتریکی از اتصال دو فلز ناهمسان بگذرد ، گرما آزاد یا جذب می شود . هنگامی که جریان الکتریکی در همان جهت سیبک جاری می شود ، در اتصال گرم تر گرما جذب و در اتصال سردتر ، گرما آزاد می شود . اثر پلیته را می توان به صورت تغییر در مقدار گرما در هنگام عبور کمیت بار (۱ کولن) ازاتصال تعریف کرد . اثر پلیته ، مبنای اصلی گرمایش و سرمایش گرما برقی است . (باید توجه داشت که این اثر با اثر گرمایی ژول متفاوت است ، زیرا دراثر ژول با معکوس کردن جریان ، ازاد شدن گرما به جذب گرما یا برعکس تبدیل نمی شود .)

اثر تامسون : سر ولیام تامسون (لرد کلوین) در ۱۸۵۱ دریافت گرادیان دما در یک رسانای فلزی ، با گرادیان والتاژ کوچکی همراه است که بزرگی راستای آن به نوع فلز بستگی دارد . درهنگام برقراری جریان الکتریکی ، به دلیل وجود گردایان گرما برقی ، گرما آزاد یا جزب می شود و نتیجهٔ کلی آن است که گرمای آزاد شده در فاصلهٔ محصور بین اختلاف دما اندکی از مقدار گرمای مربوطه به مقاومت رسانا ، بیشتر یا کمتر است . اثرهای تامسون برابر و مخالف اند و بدین وسیله یک دیگر را خنثی می کنند و لذا به دلیل عدم افزایش نیروی محرکه الکتریکی (EMF) در مدار ، برا ترموکوپلها استفاده ازسیم های رابط مجاز است .

8-2) قوانین

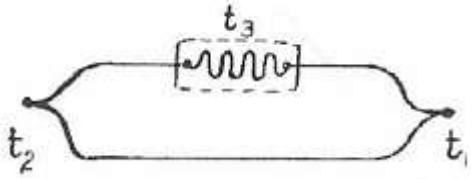
بنا به دها سال تجربهٔ عملی قوانین زیر به کار می روند :

قانون مدار های همگن : تنها با اعمال گرما دریک سیم همگن منفرد ، جریان در مدار به وجود نمی آید ، جریان برقرا شده در مدار فقط به علت اختلاف دما در نقاط اتصال (t_1 & t_2) به وجود می آید و مستقل از دمای در طول سیم ها (t_3 & t_4) می باشد .

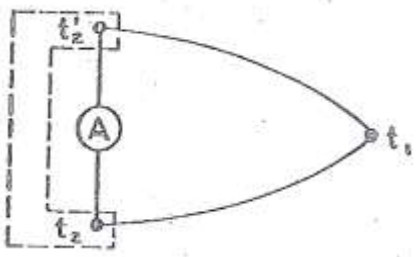


در مدار ازیک فلز همگن ، جریان ترموکوپلی نمی تواند برقرار شود ، بدهی است اگر فقط گرما بدهیم سطح مقطع تغییر می کند .

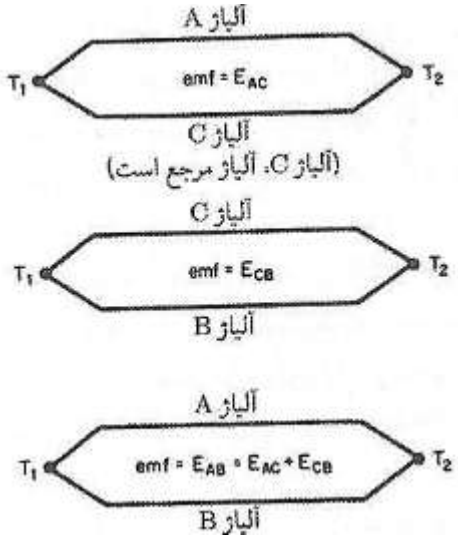
قانون مواد واسط : این قانون از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا نشان دهنده این مطلب است که یک ترموکوپل عملاً چگونه مورد استفاده قرار می گیرد . اگر سیم سومی در مدار ترموکوپل مورد استفاده قرار گیرد و اگر دمای دو اتصال جدید یکسان باشد ، روی جریان ترموکوپل تأثیری ندارد . توجه نمایید لزومی ندارد دمای اتصالات جدید برابر t_1 و t_2 باشند .



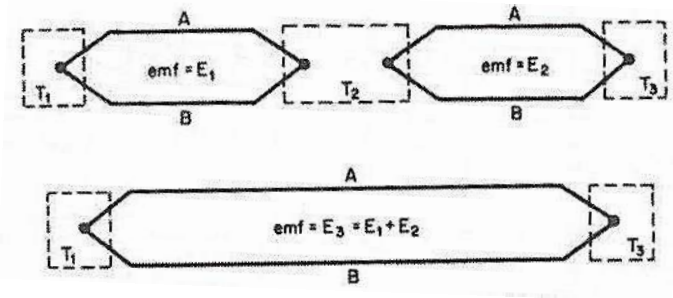
فرض کنید یک آمپرمتر دراتصال t_2 قرار داده شود سرهای این آمپرمتر با هر دو سم ترمو کوپل متفاوت اند ، تا زمانی که t_2 با t'_2 برابر می باشند ، مانند حالتی است که آمپرمتر در مدار قرار داده شده شده است . مادامی که برای مواد واسط شرایط دماهای مساوی برقرار است ، خروجی ترموکوپل فقط تابعی از t_1 و t_2 است .



اگر تمام مدار که از هر تعداد مواد ناهمسان ساخته شده ، در دمای یک نواختی قرار داشته باشند ، جمع جبری نیروهای محرکهٔ الکتریکی گرمایی در مدار برابر صفر است . این بدین معناست که می توان مادهٔ همگن سومی بدون هیچ تأثیری برروی EMF خالص مدار ، به مدار افزود به شرط آنکه تمام اتصال ها افزوده شده به مدار در دمای یکسانی قرداشته باشند . بدین ترتیب وسیلهٔ اندازه گیری EMF گرمایی را می توان در هر نقطه بدون تأثیر در EMF حاصل وارد مدار کرد ، به شرط آنکه تمام اتصال های افزوده شده به مدار در دمای یکسانی قرار داشته باشند . به علاوه می توان دریافت که هر اتصالی که دمای آن یکنواخت است و تماس الکتریکی خوبی دارد تأثیری بر EMF مدار ترموکوپل نمی گذارد و این امر به روش به کار رفته در ایجاد اتصال بستگی ندارد .



قانون دماهای واسط : اگر مدار حاصل از دو فلز همگن ناهمسان هنگامی که اتصال های آنها در دماهای T_1 و T_2 باشند ؛ EMF گرمایی E_1 ، و وقتی دما های T_2 و T_3 باشند ؛ EMF گرمایی E_2 ، ایجاد کنند ، هنگامی که اتصال ها در دمای T_1 و T_3 باشند ، EMF حاصل برابر E_1+E_2 است.



با کاربردن این قانون می توان ترموکوپلی را که به ازای دمای مرجع خاص میزان شده است ، با تصحیح مناسب برای هر دمای مرجع دیگر مورد استفاده قرارداد . مثال دیگر از این قانون این است که سیم های رابطی را که مشخصه های الکتریکی گرمایی آنها ، مانند سیم های ترموکوپل است بدون تأثیر بر EMF خالص ترموکوپل کرد .(ازناحیهT_3 تا ناحیهT_4)

8-3) توضیحات

خروجی یک ترموکوپل دارای دامنهٔ کوچکی است ، به طوری که در اختلاف دمای 10°C مقدار خروجی در محدودهٔ چند میلی ولت است . ولتاژ خروجی معمولاً در گسترهٔ 10- تا50mV و حساسیت متوسط آن از ۱۰ تا 50μV/°C- بسته به فلزات به کار رفته در ساختار آن است . اما تغییرات ولتاژ خروجی آن نسبت به دما بسار غیر خطی است.

اگر نیاز به این باشد که خروجی ترموکوپل برای راه اندازی چیز بیشتر از حرکت عقربه استفاده شود، در آن صورت لازم است با استفاده از یک مدار تقویت کننده عملیاتی و یا تقویت کنندهٔ چاپر ، آن را تقویت DC کنیم ، نوع تقویت کننده ای که لازم است بایستی بدقت انتخاب شود ، دارای پایداری جریان نشتی مطلوبی باشد ، مگر اینکه امکان تنظیم مجدد تقویت کننده به طورمکرر فراهم باشد . در چنین شرایطی تقویت کنندهٔ چاپر برای اغلب موارد ترجیح داده می شود .

درصورتی که لازم باشد یک عمل کلیدی روشن / خاموش انجام شود ، ترموکوپل بایستی به همراه یک کنترل کننده که از مدار اشمیت تریگر استفاده می کند به کار برده شود ، زیرا باید توسط اشمیت تریگر ، بایاس (نقطه کار) به گونه ای میزان شود که بتوان دمای سویچ را از پیش تنظیم کرد .

مدار معمولی داری خاصیت تقویت کنندگی است ، زیرا محدوده های خروجی های ترموکوپل قابل مقایسه با پتانسیل اتصالات مدارات تقویت کننده است . سعی دراستفاده از ورودی ها خیلی کوچک برای عمل سویچ همواره به مشکلاتی در مورد هیسترزیس و حساسیت منجر می شود .

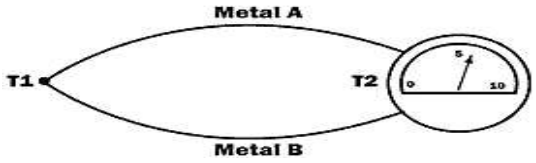
امتیاز خاص ترموکوپل ها این است که قسمت حس کنندهٔ آن خودشان خیلی کوچک هستند و امکان این هست که ترموکوپل ها در فضاهای خیلی کوچک جاسازی شوند و بتوان پاسخ مناسبی را نسبت به تغییرات دما دریافت کرد . طبیعت الکتریکی و روش کار به صورتی است که مدارات لازم برای خواندن خروجی ترموکوپل را میتوان درفاصله دور از خود سنسور نصب کرد . بایستی توجه داشت که درهر جا یک هادی فلزی با یک هادی فلزی دیگر تماس داشته باشد اثرات ترموکوپل ظاهر می شود ، به گونه ای که اختلاف دما های موجود درمدار چاپی نیز می تواند باعث تغییرات در مقدار ولتاژ خروجی ترموکوپل بشوند که

ولتاژشان با آنها قابل مقایسه است . بنابر این شکل ساختمان تقویت کننده هایی که برای ترموکوپل ساخته می شوند بسیار مهم است و به نوعی تنظیم صفر نیاز دارند .

ترموکوپل های تنگستن ، رودیم ، و پلاتین نیز ، دردما های بسیار زیاد مفید اند .

ترموکوپلها دستگاهای ارزان و بسیار مستحکم اند ، اگرچه هنوز دربعضی از کار بردها دچار اشکال و محدودیت می شوند . به طور کلی صحت دستگاه بین یک تا سه درصد ، بسته به جنس فلز و کیفیت ساخت آن ، است . زمان پاسخ معمولاً کند است . اگر چه ترموکوپلهای خاصی وجود دارند که میتوانند در عرض ۱ تا ۱۰ میلی ثانیه پاسخ دهند ولی زمان پاسخ دهی بیشتر آنها در حدود چند ثانیه است . علاوه بر خروجی غیر خطی ، به دلیل وجود اتصالات اضافی اجتناب ناپذیر در مدارات اندازه گیری نکات جبرانی نیز باید منظور شوند . اتصال ترموکوپلها ولتاژی متناسب با دما در دوسر خود ایجاد می کنند ($V = K(t)$) که در آن k ضریب سی بک برای اتصال فلز به فلز معیین و t بر حسب کلوین است .

متأسفانه ولتاژ سی بک مستقیماً قابل اندازه گیری نسیت . وقتی ترموکوپل به ولتمتر و یا سیستم کسب داده ها متصل می شود ، اتصال ترموالکتریکی جدیدی تشکیل می شود.



شکل بالا ترموکوپل مس – کنستانتان (نوع T) را که به ولت متر وصل شده است نشان می دهد . ولت متر بایستی فقط ولتاژ (مربوط به $T1$) رابخواند اما با اتصال ولت متر به ترموکوپل دو اتصال فلزی جدید A و B نیز تشکیل می شوند . چون اتصال B مس – مس است هیچ گونه ولتاژ گرمایی تشکیل نمی شود ($V_1 = 0$) . اما A یک اتصال مس – کنستانتان است که ولتاژ V_2 را در جهت عکس V_1 می افزاید . در نتیجه قرائت ولت متر V_v است که عملاً متناسب با اختلاف دمای بین اتصالات T_1 و A است . یعنی برای مشخص کردن دمای T_1 باید نقطهٔ A نیز معلوم باشد . A را اتصال مرجع یا اتصال سر می نامند و دمای آن مرجع یا V_{ref} است توجه داشته باشید که V_2 همان V_{ref} است ، بدین صورت به دست می آوریم :

$$V_v = V_1 - V_{ref} = k(t_1 - t_{ref})$$

نکته مهم که باید به خاطر داشت آن است که k نسبت به دما به شدتغیر خطی است . اما در اندازه گیریها نیازی به دانستن مقدار k نیست .در جدولی که مؤسسه ملی استاندارد و تکنولوژیNIST گردآوری کرده است، تغیرات k درنظر گرفته شده است و به فرض $t_{ref}=0°C$ ، می توان t_1 را مستقیماً برحسب V_v به دست آورد. جدول جداگانه ای برای هر ترموکوپل تظیم شده است . در عمل A (وB) در حمام یخ قرار می گیرند تا دمای آنها صفر درجه سانتیگراد باشد . توجه کنید حتی در این شرایط V_{ref} صفر نسیت . رابطهٔ سی بک بر مقیاس کلوین (صفر مطلق) استوار است . در کار بردهای مبتنی بر کامپیوتر جداول ترموکوپل به معادلات چند جمله ای تبدیل می شوند . بسته به نوع ترموکوپل و صحت مورد نظر (بر طبق جدول NIST) از چند جمله ای های درجه پنجم تا نهم استفاده می شود .

ترموکوپل مس – کنستانتان که در این مثال بیان شد حالت خاصی است، چرا که پایانه های ولت متر هم جنس یکی از سیم های ترموکوپل هستند . جالبتر است اگر مثالی کلی با استفاده از نوع آهن – کنستانتان (نوع J) آورده شود . وجود سیم آهنی تعدات اتصالات فلزی غیر هم جنس را در مدار افزایش می دهد و B ، یک اتصال ترموکوپلیCu-Fe می شود .ولی می توان نشان داد که اگر اتصالات Fe-Cu و C-Cu (در تابلوی پایانه ای) هم دما باشند ، ولتاژ حاصل معادل یک اتصال Fe-C است و همین باعث می شود که ازمعادله ای که گفته شد استفاده کرد .مجدداً این نکته مهم یاد آوری می شود که برای دو اتصال مزاحم باید هم دما نگه داری شوند (در دمای مرجع) . برای این منظور باید کلیهٔ اتصالات در یک بلوک هم دما قرار بگیرند.

مسلماً ، استفاده از محفظهٔ یخ از بسیاری جهات علمی ، نامطلوب است . اگر با تجزیه و تحلیل به مرحلهٔ منطقی برسیم معادلهٔ بالا نشان می دهد که t_{ref} لزوماً نبایستی دمای خاصی باشد .کافیست دمای مرجع دقیقاً معلوم باشد. اگر بتوان دمای بلوک هم دما (اتصال مرجع) را به طورمستقل اندازه گیری کرد ، در محاسبهٔ مقدار نامعلوم t_1 استفاده می شود .

از وسایلی نظیر ترمیستور ها ، آشکار سازهای مقاومتی دما ، و حسگرهای نمیه رسانا می توان برای اندازه گیری مستقل نقطهٔ اتصال مرجع استفاده کرد . حسگرهای رسانا،برای این منظور متداول ترند .

عمل اندازه گیری به کمک ترموکوپل تحت نظارت کامپیوتر شامل مراحل زیر است :

- T_{ref} را اندازه گیری کنید و از چند جمله ایترموکوپل برای محاسبه ولتاژ ترموکوپلی معادل در اتصالات مزاحم ، یعنی V_{ref}، استفاده کنید .
- V_v را اندازه گیری کنید و با V_{ref} جمع کنید تا V_1 پیدا شود .
- T_1 را به کمک V_1 ، با استفاده ازچند جمله ای ترموکوپل ، محاسبه کنید .

به طور کلی می توان گفت ، اندازه گیری توسط ترموکوپل همواره به صورت یک اندازه گیری تفاضلی است ، بدین صورت که اختلاف دمای بین اتصال سرد یا همان اتصال مرجع با دمای اتصال گرم یا اتصال اندازه گیری را محاسبه می کند .

روش معمول جبران سازی اتصال سرد را می توان در قسمت تقویت کننده / خروجی به کار برد . برای تشخیص دما دراتصال ویا اتصالات مرجع از یک سیم پیچ فلزی و یا یک ترمیستور استفاده می شود و خروجی حاصل از این سنسور به منظور تصحیح اثر به یک طبقهٔ جمع کننده داخل ابزار اعمل می شود . این روش براحتی در تجهیزات مجهز به میکروکنترلر توسط یک جدول تصحیح مقادیر که در یک حافظه ROM نگهداری می شود قابل انجام است اما در روشهای قدیمی آنالوگ عمل فوق با باستفاده از یک طبقه جمع کننده انجام می شد .

اگر چه ترموکوپل ها برای اندازه گیری های دقیق ایده آل نیستند، معمول تراین است که اتصال یا اتصالات مرجع در دمای واحدهای مرجع قرارده می شوند . حالت نقطه ذوب یخ واحد مرجع با استفاده ازاتصالات سرد پله تری تر در صفر درجه سانتی گراد نگه داشته می شود(برعکس اثر سی بک) و سنسورهای دقیق برای دمای مرجع ، مانند نوع فانوسی با استفاده ازانبساط حاصل ازتغییرات حالت آب به یخ کار می کنند .

روش تجاری تثبیت نقطه مرجع صفر بدین صورت بود (در زمان های گذشته) که از یک فلاسک خلاء که از مخلوط آب و یخ پرشده بود استفاده می شد .منتها دراندازه گیریها با این روش اختلافهای زیادی پیش می آمد و احتیاج به دقت اندازه گیری زیادی داشت .

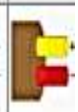
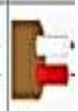
ایراد عمده ای که این روش دربر دارد این است ، یخی که از درون یخچال خارج می شود، غالباً دمای 15°C ویا کمتراست و آب اطراف آن در حدود 5°C است ، بنابراین نقطه اتصال مرجع مطمئناً در دمای اشتباه قرار دارد و ضمناً همین دما هم به مقدار قبل توجهی تغییر خواهد کرد .

مخلوط آب و یخ در صورتی مناسب است که آب عاری از مواد معدنی ناخالصی باشد ویخ از آب یکنواختی تشکیل شده باشد، یخ به صورت پودر باشد . و حالت تکه تکه نداشته باشد،یخ به مدت زمان قابل توجهی درتماس با آب بوده و به شکل یک نواختی بهم زده شود ونقطه اتصال مرجع با یخ تماس نداشته باشد (در صد مقدر آب و مقدار یخ مهم است).

سیستم مرجع جعبه داغ از یک آلومینیمی محکم تشکیل شده که حفره ای در آن دریل کاری شده و اتصال مرجع در آن حفره قرار داده می شود . دمای بلوک ثابت باقی می می ماند ومعمولاً در دمایی است که مقدار کافی از دما محیط بالاتر و در ناحیه ۵۵تا ٦۵ درجه سانتیگراد قرار دارد .توسط یک گرم کننده دمای بلوک سریعاً تا سطح پایداریش بالا برده می شود و زمانی که دما به سطح کنترل شده رسید ، گرم کننده خاموش می شود . از این زمان به بعد ، توسط یک ترمیستور و یک عنصر گرم کننده که در یک حلقه با یک تقویت کننده قرار دارد کنترل می شود . تجهیزات جنب ترموکوپل بایستی دارای مداراتی باشد که اضافه کردن ولتاژ کوچکی به خروجی ترموکوپل قرائت ولتاژ حاصل از افزایش دمای نقطه مرجع را تصحیح کند.

همان طور که قبل ذکر شد روش دیگر بهسازی سیگنال ترموکوپل،روش غیرفعال است (جدا سازی نقطهٔ مرجع).اتصالات بین ترموکوپل و سیستم قرائت اندازه گیری دارای اهمیت است . زمانی که فاصله بین ترموکوپل و ابزاراندازه گیری قابل توجه باشد، بایستی از کابلهای رابط یا جبران سازی برایاتصال این دو استفاده کرد اختلاف بین این دو در این است ؛ سیم هایی که برای طولانی کردن استفاده می شود ازهمان جنس ماده هستند که برای ترموکوپل استفاده شده است و می تواند در همان دماهای مورد استفاده قرار گیرد . کابل های جبران ساز از مواد ارزان قیمت استفاده می کنند و فقط تا دمای محیط 80°C قابل استفاده اند . کابلهای جبران سازی بایستی با نوع ترموکوپل مورد استفاده تطبیق شده باشد و هر دو این کابلهای طولانی کردن و جبران سازی بایستی با پلاریته مناسب متصل شوند .

کابلهای که با استاندارد انگلیسی(BS 1843:1952) تولید می شوند تماماً از رمزگذاری هایی استفاده می کنند که در آن سیم منفی به رنگ آبی است . اما در کابل های US ANSI سیم قرمز برای منفی استفاده می کنند و در ستاندارآلمانی مشخصات DIN سیم قرمز برای مثبت است.به جدول زیر توجه کنیم :

Type	Temperature range °C (continuous)	Temperature range °C (short term)	Tolerance class one (°C)	Tolerance class two (°C)	IEC Color code	BS Color code	ANSI Color code
K	0 to +1100	−160 to +1300	±1.5 between −40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between −40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C			
J	0 to +750	−160 to +800	±1.5 between −40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 750 °C	±2.5 between −40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 750 °C			
N	0 to +1100	−270 to +1300	±1.5 between −40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between −40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C			
R	0 to +1600	−50 to +1700	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±[1 + 0.003×(T − 1100)] between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.
S	0 to 1600	−50 to +1750	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±[1 + 0.003×(T − 1100)] between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.
B	+200 to +1700	0 to +1820	Not Available	±0.0025×T between 600 °C and 1700 °C	No standard use copper wire	No standard use copper wire	Not defined.
T	−185 to +300	−250 to +400	±0.5 between −40 °C and 125 °C ±0.004×T between 125 °C and 350 °C	±1.0 between −40 °C and 133 °C ±0.0075×T between 133 °C and 350 °C			
E	0 to +800	−40 to +900	±1.5 between −40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 800 °C	±2.5 between −40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 900 °C			
Chromel/AuFe	−272 to +300	n/a	Reproducibility 0.2% of the voltage; each sensor needs individual calibration.				

می توان نتیجه گرفت که برای جبران سازی سیگنال ترموکوپل دو روش کلی می توان استفاده کرد :

سخت افزاری

- استفاده از کابل های رایط مسی (یا کابل غیر هم جنس ترموکوپل) ،این روش بدترین نوع اتصال است چون در محل اتصال ،به دلیل تشکیل ترموکوپل جدید خطا زیاد است.
- روش جبران سازی با استفاده از کابل های هم جنس ترموکوپل، این روش پر هزینه و مرغون به صرفه نست.

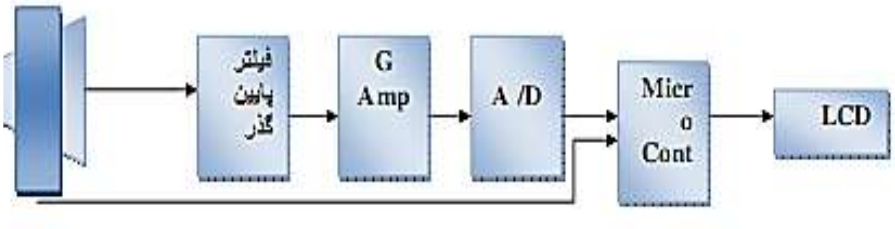
نرم افزاری

- در این روش از کابل های ارتباطی مسی استفاده می شود و نقطه اتصال را به وسیله PT100 یا سنسور دمایی دیگر اندازه گیری کرده سپس با استفاده از محاسبات میان دمای ترموکوپل و PT دمای مورد نظر را بدست می آوریم.
- استفاده از روشTT یا تبدیل سیگنال ولتاژی ترموکوپل با استفاده از مبدل mV/mA به سیگنال جریانی (معمولاً 4-20mA).
- استفاده از میکروکنترلر توضیح این روش به شرح زیر است :

اندازه گیری دما با استفاده از ترموکوپل به دو محاسبه اولیه نیاز دارد جبران سازی اتصال سرد و محاسبه دما با استفاده از چند جمله ای سری توانی یا جدول مرجع.

جبران سازی اتصال سرد را می توان داخل نرم افزار یا سخت افزار انجام داد .شکل زیرنمودار بلوکی ای را نشان می دهد که درآن یک ترموکوپل برای اندازه گیری دما مرجع به کارمی رود وجبران سازی اتصال سرد درون نرم افزار انجام می شود .یک تقویت کننده عملیاتی برای افزایش مقدار سیگنال ترموکوپل به کار می رود وبه گونه ای که بتوان توسط مبدل A/D آن را به یک مقدار رقمی تبدیل کرد . هم ولتاژ رقمی شده ترموکوپل وهم ولتاژ رقمی شده مرجع به میکرو کنترل اعمال می شوند

.میکروکنترلر با اعمال جبران سازی اتصال سرد و چند جمله ای سری توانی دما مورد نظر را جهت اندازه گیری محاسبه می کند. در مواردی که نویز زیاد باشد می توان از فیلتر پایین گذر استفاده کرد.



جبران سازی نرم افزاری اتصال سرد و اندازه گیری دما

برای جبران سازی اتصال سرد می توان از تراشه LT1025 یا AD595/AD594 استفاده کرد. با استفاده ازاین تراشه ها به اندازه ولتاژی که تروکوپل با دمای محیط ایجاد می کند را به جای ولتاژ سرد قرار می دهیم .این تراشه ها برای انواع مختلف ترموکوپلها چندین پایه دارد .

8-4) انواع ترموکوپل

امروزه مصرف کنندگان ترموکوپل از تکنولوژی بسیار متکاملی استفاده می کنند .پس از دهها سال پژوهش در یافتن ترکیبهای فلزی و آلیاژی ای که به ازای هر درجه دما میلی ولت ولتاژ کافی ایجاد کنند و در جوّهای اکسنده و کاهنده در برابر خوردگی مقاوم باشند ، مجموعهٔ عظیمی از اطلاعات علمی و مهندسی به دست آمده است . همچنین پژوهش های زیادی برای یافتن غلاف و چاهک های محافظی که در مقابل دماهای بسیار زیاد و بسار کم مقاوم باشند ،صورت گرفته است . با این حال باید خاطرنشان کرد که ترموکوپل ها همه منظوره یافت نشده است . گزینش ترموکوپل نیاز به تجربهٔ زیادی دارد تا انتخاب بهینه برای کاربردی معین انجام شود.

با مراجعه به جدول صفحه بعد می توان به این وضعیت پی برد . در این جدول اطلاعات تخصصی کلیدی برای ۵ ترموکوبل اصلی فلزپایه و ۳ ترموکوبل فلزگران قیمت یا نادریآمده است که اصولاً برای نیازهای دمای زیاد و صحت زیاد برخی از کاربردها به صورت استاندارد در آمده اند وتنوع وسیع ترموکوپل هایی را که به راحتی میتوان از سازندگاه قابل اعتماد به دست آورد نشان می دهد .

انواع ANSI-ISA	ترکیب فلزات[2]	کدهای عناصر گرمایی	ترکیب شیمیایی	گستره دمایی متداول	نوع استاندارد	نوع مجاز	مناسب در جو
ترموکوپلهای فلز پایه							
J	آهن/ کنستانتان	JP	Fe	(۸۰۰°F)۴۲۷°C تا (−۱۰۰°F) −۷۳°C	±۲٫۲°C(±۴°F) (±¾٪)	±۱٫۱°C(±۲°F) (±½٪)	اکسنده، کاهنده[2]
K	کرومل/ آلومل	KP	۹۰Ni : ۹Cr	(۱۲۰۰°F)۶۷۰°C تا (۱۰۰°F)۴۲۷°C	±۲٫۲°C(±۴°F) (±¾٪)	±۱٫۱°C(±۲°F) (±½٪)	اکسنده، بی‌اثر[4]
		KN	۹۴Ni : Al : Mn : Fe	(۲۱۰۰°F)۱۱۴۹°C تا (۵۳۰°F)۲۷۷°C	±۲٫۲°C(±۴°F) (±¾٪)	±۱٫۱°C(±۲°F) (±½٪)	
T	مس/ کنستانتان	TP	Cu	(۷۰۰°F)۳۷۱°C تا (−۳۰۰°F) −۱۸۰°C	±۱٫۱°C(±۲°F) (±½٪)	±۰٫۸°C(±۱٫۵°F) (±¾٪)	اکسنده، کاهنده
E	کرومل/ کنستانتان	EP	۹۰Ni : ۱۰Cr	(۱۶۰۰°F)۸۷۱°C تا (۳۲°F)۰°C	±۱٫۷°C(±۳°F) (±½٪)	±۱٫۱°C(±۲°F) (±½٪)	اکسنده، بی‌اثر
N	نیکروزیل/ نیزیل	NP	Ni : ۱۴٫۲Cr : ۱٫۴Si	(۲۳۰۰°F)۱۲۶۰°C تا (۵۳۰°F)۲۷۷°C	±۲٫۲°C(±۴°F) (±¾٪)	-	اکسنده، بی‌اثر
ترموکوپلهای فلز گرانبهها							
R	پلاتین-رودیم/ پلاتین	RP	۸۷Pt : ۱۳Rh	(۲۷۰۰°F) موجودند	بسته به نوع مواد غلاف تا ۱۴۸۰°C	با سازنده مشورت کنید	اکسنده، بی‌اثر
S	پلاتین-رودیم/ پلاتین	SP	۹۰Pt : ۱۰Rh	(۱۰۰۰°F)۵۳۸°C تا (۰°F) −۱۸°C	±۱٫۴°C(±۲٫۵°F) (±½٪)	-	اکسنده، بی‌اثر
B	پلاتین-رودیم/ پلاتین-رودیم	BP	۷۰Pt : ۳۰Rh	(۲۱۰۰°F)۱۱۴۹°C تا (۱۰۰۰°F)۵۴۸°C	بسته به نوع مواد غلاف تا ۱۷۰۰°C (۳۱۰۰°F) موجودند	با سازنده مشورت کنید	اکسنده، بی‌اثر، خلأ
		BN	۹۴Pt : ۶Rh	(۲۱۰۰°F)۱۱۴۹°C تا (۵۳۰°F)۲۷۷°C	±۲٫۲°C(±۴°F) (±½٪)	±۱٫۱°C(±۲°F) (±½٪)	

۱. مشخصات ارائه‌شده تا حدی از سازنده به سازنده متغیر می‌باشد، به‌طورکلی مقادیر ارائه‌شده در این جدول شامل حدود دمایی غلاف به کار رفته هستند.

۲. ترکیب فلزات ایزایک، اسامی تجاری و ترکیبات اختصاصی ثبت شده‌اند.

ترموکوپل نوعK (CHROMEL-ALUMEL)

ترموکوپل نوع K از سیم فلزی Ni-Cr (به نام تجاری کرومل Chromel) و Ni-Al (به نام تجاری آلومل Alumel) ساخته می شود.این ترموکوپل ارزان قیمت است و یکی از پرکاربردترین ترموکوپل ها می باشد. رنج عملکرد دمایی آن بین 200°C- و 1350°Cو حساسیت آن تقریبا ٤١ µV/°C است و معمولا در دماهای بالا مورد استفاده قرار می گیرد. دارای تلرانس 3± درجه در بازه ۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد و در بازه ٤۰۰ تا ۱۳۵۰ درجه دارای تلرانس یک درصدی می باشد . ترموکوپل نوع K بخاطر استفاده از مس خاصیت ضد اکسیداسیون دارد لذا در کوره ها که اکسیداسیون رخ می دهد مناسب تر می باشد

ترموکوپل نوع J (IRON-CONSTANTAN)

این ترموکوپل از فلز آهن Fe و آلیژهای مس – نیکل Cu-Ni ساخته می شود. رنج دمایی این ترموکوپل بین 180°C- و 760°Cاست(ازاین نقطه به بعد آهن اکسیده می شود و صحت حسگر با شتاب خراب می شود). دارای تلرانس 1%± در بازه ۲۰۰ تا ۷۵۰ درجه و در رنج دمایی ۰ تا ۱۹۰ درجه دارای تلرانس 3± درجه می باشد . این ترموکوپل در دمای 100°C دارای خروجی 5.72mV می باشد. به دلیل احتمال اکسید شدن آهن این ترموکوپل ، در صنایع قالب ریزی پلاستیک استفاده می شود. حساسیت ترموکوپل نوع J ، به اندازه ی ۵۵ µV/°C است و برای طرح های جدید توصیه می شود. در ترموکوپل نوع J به علت وجود آهن در مکانهایی که امکان اکسیداسیون وجود دارد استفاده نمی شود. به دلیل ارزان بودن پرمصرفترین ترموکوپل صنعتی است.

ترموکوپل نوع E (CHROMEL-CONSTANTAN)

ترموکوپل نوع E با استفاده از فلزات Ni-Cr (کرومل) و Cu-Ni (کنستانتان Constantan) ساخته می شود. محدوده ی عملکرد دمایی آن ، بین 40°C- و 900°C است. این ترموکوپل داری تلرانس 3± درجه در بازه ۰ تا ٤۰۰ درجه می باشد ، که در دمای 100°C دارای خروجی 6.23mV می باشد. این ترموکوپل با ٦٨ µV/°C بیشترین حساسیت را دارد و می توان از آن در کاربردهای خلاء و مواردی که حسگر در آن حفاظت نشده است ، استفاده کرد. این نوع بیشترین میلی ولتاژ را به ازای هر درجه تغییر دما ایجاد می کند و بیش ترین حساسیت را دارد و به ویژه برای اندازه گیری دماهایی با گسترهٔ کم با حالت تفاضلی مناسب است و استقامت بالای در مقابل خوردگی محیط است .

ترموکوپل نوع T (COPPE-CONSTANTAN)

ترموکوپل نوع T از مس Cu و آلیاژ نیکل – مس Cu-Ni (کنستانتان Constantan) ساخته می شود. محدوده ی عملکرد دمایی این نوع ترموکوپل ، بین 250°C- تا 400°C است، و دارای تلرانس $\pm 1°$ در بازه ۰ تا 100°C و $\pm 1\%$ در بازه دمایی ۱۰۰تا ٤۰۰ درجه سانتی گراد می باشد . و در ۱۰۰ درجه سانتی گراد در خروجی ٤,۲۸ میلی ولت اعمال می کند . این ترموکوپل نسبتا ارزان و برای کاربردهای با دمای پایین مناسب است، در برابر رطوبت مقاومت خوبی دارد، مقاومت زیادی در برابر خوردگی توسط املاح موجود در مایعات دارد و سازگاری بالایی با داده های میزان کردن منشتر شده،دارد . در کاربردهای سرمازایی . در دمای محیط ،این حسگرها ، ترموکوپل برگزیده هستند . حساسیت این ترموکوپل ، ٤٦ µV/°C است.ترموکوپل نوع T در صنعت به دلیل اینکه نسبت به تمام انواع ترموکوپل خطیتر است و رنج درجه حرارت مناسبی دارد و همچنین از حساسیت خوبی برخوردار است در صنعت بیشتر مورد استفاده می گیرد.

ترموکوپل نوع N (NICROSIL-NISIL)

ترموکوپل نوع N از فلزهای Ni-Cr-Si (به نام تجاری نیکروسیل) و Ni-Si-Mg (به نام تجاری نیسیل Nisil) ساخته می شود. محدوده دمائی آن بین270°C- و 1300°C است. حساسیت این ترموکوپل ، به اندازۀ ۳۰ µV/°C است. پایدار گرمایی عالی،عمر طولانی و نسبت به ترموکوپلK صحت بهتری برای تناوبهای طولانی تر دارد معمولا در دماهای بالا مورد استفاده قرار می گیرد .بنا به سازنده، گاهی این ترموکوپل را می توان با قطرهای خارجی کوچکتر تهیه کرد .

ترموکوپل نوع R (PLATINUM-13% RHODIU-PLATINUM)

ترموکوپل نوع S از پلاتین و 13% رادیم و پلاتین می باشد . گسترۀ دمای آن تقریباً همانند نوع B است و دارای تلرنس $\pm 1°$ در بازه 0 تا 110°C می باشد و در دنج دمایی 1100 تا ۱٤۰۰ دارای تلرانس $\pm 2°$ و در دماهای ۱٤۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه تلرانس آن ± 3 درجه می باشد .

ترموکوپل نوع S (PLATINUM-PLATINUM 10%RHODIUM)

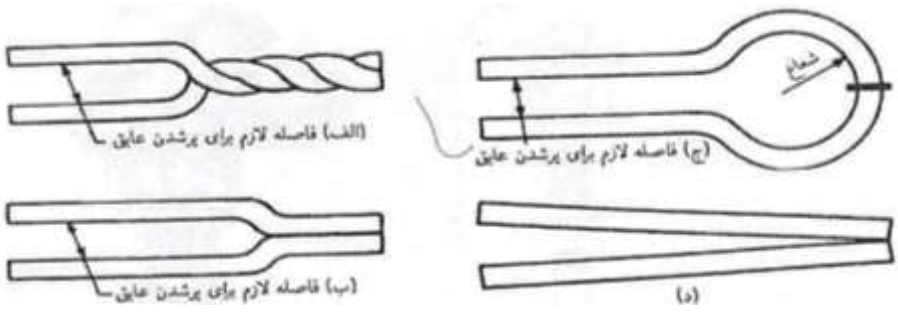
ترموکوپل نوع S از پلاتین ، و ۱۰ درصد رادیم پلاتین ساخته شده است . حدود گسترهٔ دمایی آن 18- تا 1149°C می باشد . این ترمو کوپل دارای تلرانسی همانند نوع R می باشد و در دمای ۵۰۰ درجه ٤,۲۳ میلی ولت خروجی ایجاد میکند . ترمو کوپل نوع S در مقابل خورندگی مقاوم بوده و در دماهای بالا به کار می رود.

ترموکوپل نوع B (PLATINUM-30% RHODIUM-PLATINUM-60% RHODIUM)

ترموکوپل نوع B از پلاتین و ۳۰ درصد آلیاژ رادیم و پلاتین 60% آلیاز رادیم می باشد . حدود دمای اندلزه گیری این ترمو کوپل۰ تا ۱۵۰۰ در جه سانتی گراد می باشد . نوع B دارای تلرانس ± 3 در بازه ۰ تا 1100درجه ،و ± 4 درجه دربازه ۱۱۰۰ تا 1500 درجه سانتی گراد می باشد ، ودارای بالاترین ضریب سلامت بین انواع ترموکوپلها در دماهای بالا می باشد. این ترموکوپل در دمای 500°C خروجی آن 1.24mV می باشد .

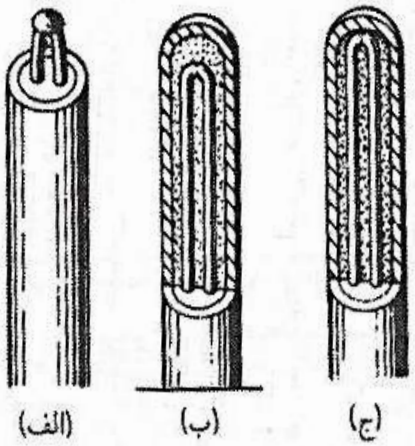
ترموکوپل نوع B ، ترموکوپل نوع S و ترموکوپل نوع R که با استفاده از Pt-Rh (پلاتین – رادیوم) با ترکیبات مختلف ساخته می شود.قیمت آنها بالا و حساسیت آن بسیار کم و در حدود ۱۰ µV/°C و محدوده دمایی آن تقریبا 0°C و 1750°Cاست . ترموکوپل نوع S بر اساس IPTS68 میزان می شود .اساساً از آنها در کاربردهای با صحت زیاد و دمای زیاد استفاده می شود .

روشهای متصل کردن سیمهای ناهمسان در ساختمان ترموکوپلها: الف) پیچاندن سیمها برای جوشکاری با گاز و قوس الکتریکی. ب)شکل دادن سیمها برای جوشکاری مقاومتی. ج) شکل دادن ترموکوپل جوش داده سربه سر . د) شکل دادن سیمها برای جوشکاری قوس ال کتریکی



8-5) ساخت حفاظت ترموکوپل

تعداد معدودی ازمصرف کنندگان ترجیح می دهند که مجموعه ترموکوپل را خود بسازند . روشهای پذیرفته شده متصل کردن سیمها برای ساخت اتصال در شکل ۵نشان داده شده است. در شکل صفحه بعداجزای اصلی یک ترموکوپل وملحقات آن اشاره شده است .اتصالهای اندازهگیری می توانند به صورتهای روباز زمین نشده یا زمین شده باشند.(شکل زیر)



اتصالهای اندازهگیری ترموکوپل. (الف) اتصال روباز، (ب) اتصال زمین‌نشده، (ج) اتصال زمین‌شده.

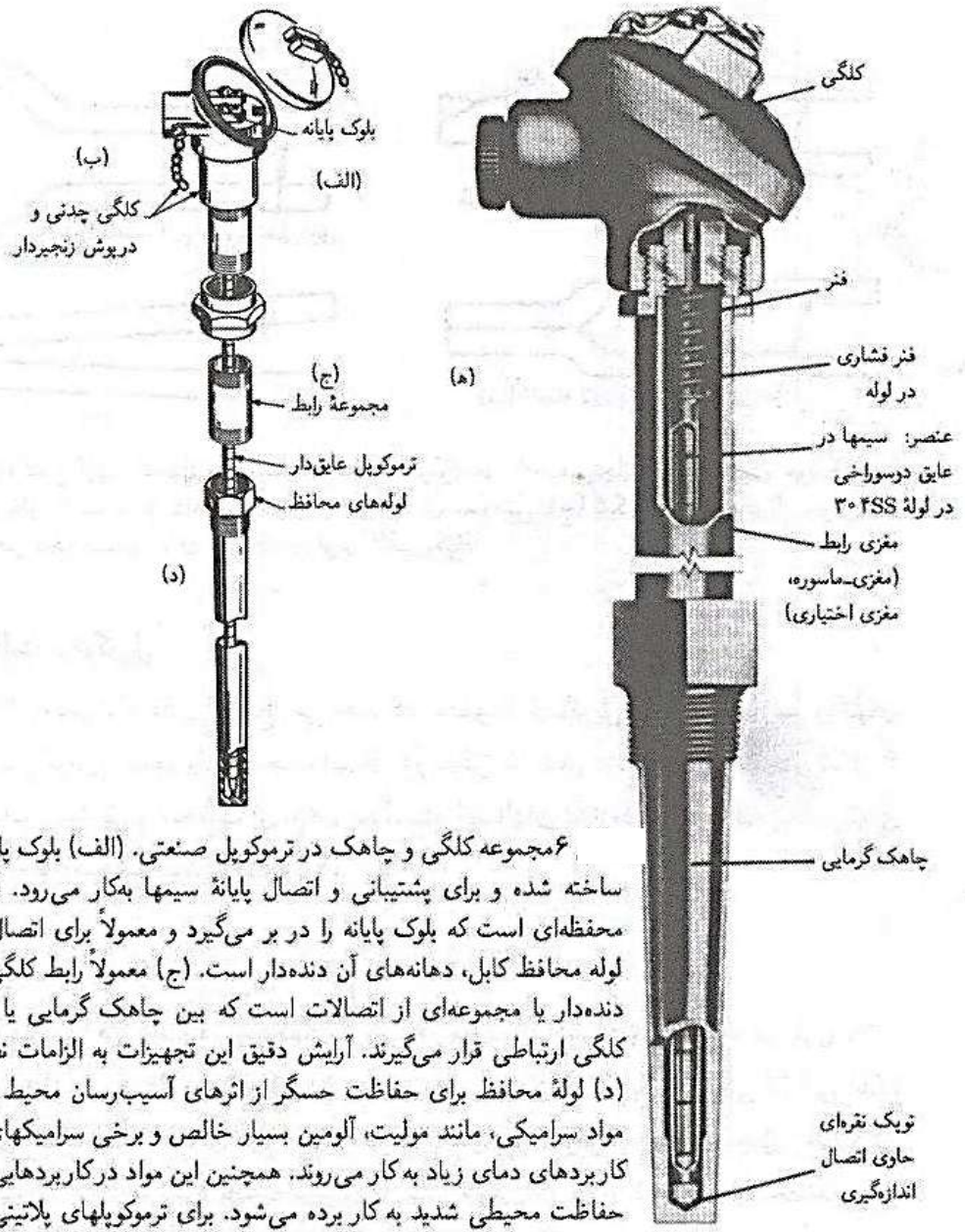
اغلب از اتصال روباز برای اندازهگیری دمای گازهای غیر خورندهٔ ساکن یا جریاندار، در مواقعی که زمان پاسخ باید حداقل باشد، استفاده می‌شود، برای پاسخ بهتر، اتصال از غلاف فلزی محافظ بیرون آورده می‌شود. برای جلوگیری از ورود نم یا گاز، عایق غلاف فلزی در محل ورود سیمها، درزبندی می‌شود.

اغلب از اتصال زمین‌نشده برای اندازه‌گیری دمای گازها یا مایعات خورنده ساکن یا جریاندار درکاربردهای حاد الکتریکی استفاده می‌شود. سیم جوش‌شده ترموکوپل، با پودر نرم منیزیم اکسید (MgO) یا هم‌ارز آن، به‌طور فیزیکی از غلاف ترموکوپل جدا و عایق می‌شود.

اغلب از اتصال زمین‌شده برای اندازه‌گیری دمای مایعات یا گازهای خورنده ساکن یا جریاندار و برای کاربردهای فشار زیاد استفاده می‌شود. برای پاسخ سریعتر از اتصال زمین‌نشده، اتصال به غلاف محافظ جوش می‌شود.

ضدزنگ:SS۳۱۰ [۱۱۵۰°C (۲۱۰۰°F)]،SS،۳۰۴ SS،۳۱۶ وSS ۳۴۷ [۹۰۰°C (۱۶۵۰°F)]

۲. مواد سرامیکی، مانند سیلیسیم کاربید، فریستان، آلومین و انواع و اقسام چینیها.



۶مجموعه کلگی و چاهک در ترموکوپل صنعتی. (الف) بلوک پایانه از ماده‌ای عایق ساخته شده و برای پشتیبانی و اتصال پایانهٔ سیمها به‌کار می‌رود. (ب) کلگی ارتباط، محفظه‌ای است که بلوک پایانه را در بر می‌گیرد و معمولاً برای اتصال به لولهٔ محافظ و لوله محافظ کابل، دهانه‌های آن دنده‌دار است. (ج) معمولاً رابط کلگی ارتباط، اتصالاتی دنده‌دار یا مجموعه‌ای از اتصالات است که بین چاهک گرمایی یا اتصالی زاویه‌دار و کلگی ارتباطی قرار می‌گیرند. آرایش دقیق این تجهیزات به الزامات نصب بستگی دارد. (د) لولهٔ محافظ برای حفاظت حسگر از اثرهای آسیب‌رسان محیط به‌کار برده می‌شود. مواد سرامیکی، مانند مولیت، آلومین بسیار خالص و برخی سرامیکهای خاص، عمدتاً در کاربردهای دمای زیاد به کار می‌روند. همچنین این مواد درکاربردهایی با دمای کمتر برای حفاظت محیطی شدید به کار برده می‌شود. برای ترموکوپلهای پلاتینی در دمای بیش از ۱۲۰۰°C (۲۲۰۰°F) باید از لوله‌های آلومینی بسیار خالص استفاده کرد، زیرا مولیت ناخالصیهایی دارد که ممکن است در بیشتر از آن دما، پلاتین را آلوده کند. (ه) مجموعهٔ ترموکوپلی فنردار به‌ویژه در جایی که اندازه‌گیری دما برای مقاصد کنترلی انجام می‌شود، مؤثر است. فنردار کردن نه تنها پاسخ را بهبود می‌بخشد بلکه اتصال را در مقابل اثرات تکانهای شدید محافظت می‌کند. در یک طرح، حلقه نگه‌دارنده‌ای نزدیک به آخر کلگی، به لوله یا غلاف جوش خورده است. یک فنر بین حلقه و بوش، به‌صورت فشرده قرار می‌گیرد و باعث تماس اتصال ترموکوپل با نوک چاهک می‌شود. اتصالی زمین‌شده مورد نیاز است. توپک نقره‌ای حاوی اتصال اندازه‌گیری است. حاصل این کارها، پاسخ خیلی خوب به تغییر دماست، با ثابت زمانی تقریباً ۱۲ ثانیه شامل ۳٫۵ ثانیه برای پاسخ اولیه.

8-6) نصب ترموکوپل

ترموکوپلهای غلاف داریا قرار گرفته درچاهکهای گرمایی درمعرضگرادیان دمایی مخوجود درطول غلاف هستند.بااستفاده ازحسگرهای بلند و کم قطر، با استفاده از مواد غلاف با رسانندگی گرمایی اندک و با فراهم آوردن ضرایب زیاد انتقال گرمای همرفتی بین سیال و ترموکوپل ، می توان چنین خطاهایی را به حداقل رساند به علاوه، نحوه نصب ترموکوپلنقشمهمیدر به حداقلرساندن خطاها دارد. برخی از مصرف کنندگان از قاعده ای قدیمیپیرویمی کنند که عمق فروبری حسگر باید ۱۰برابر قطر غلاف باشد .اما بنا به گزارش دبلیو.سی.برمان از آزمایشهای تحقیق و توسعه اکسون مسئله پیچیده تر از این حرفهاست.با انجام آزمایشات دقیق مشخص شد که کوپلهای۹۰ درجه تاشده و کوپلهای خمیده کمتر از کوپلهای متوالی که از پهلو وارد می شوند ، در معرض خطا هستند. اما نکته مهم آنکه مشکلات نصب دروضعیت هندسی ای که کوپلها از پهلو وارد می شوند ، به مراتب کمتر است .

مواد سازنده غلاف ها ترموکوپل در دو دسته تقسیم بندی می شود :

۱. فلزات مانند اینکونل ٦۰۰ (حداکثر دمای هوا 1150°C) وتعدادی از فولاد های ضد زنگ: 310ss,304ss

۲. مواد سرامیکی ،مانند سیلیسیم کاربید، فریستان، آلومین و انواع واقسام چینیها

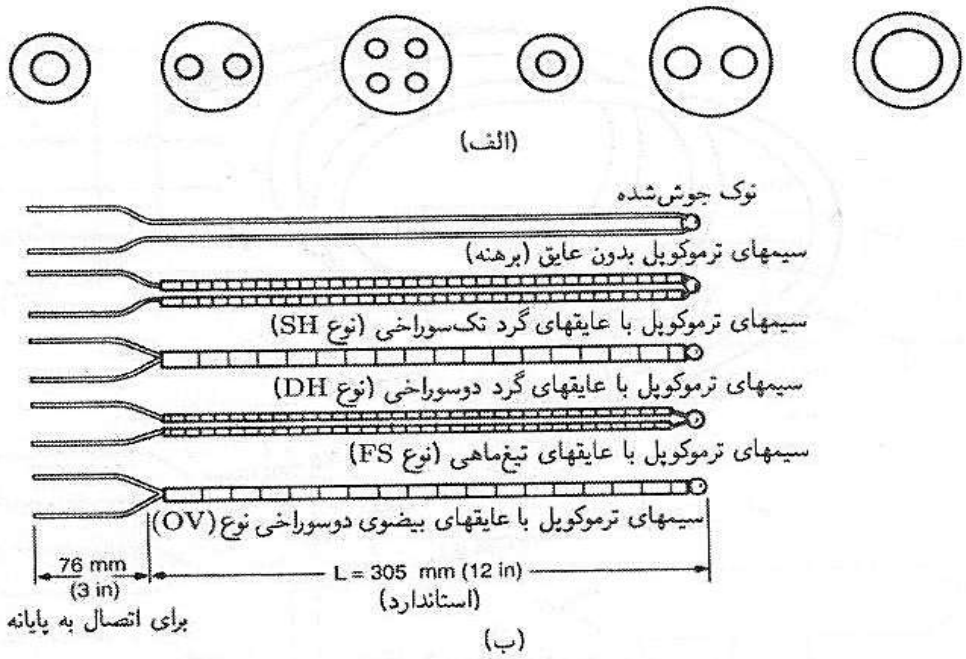
مواد سازندهٔ غلاف دمای زیاد

جنس غلاف	حداکثر دمای عملیات	کارپذیری	محیط کاری	دمای ذوب تقریبی	ملاحظات
مولیبدن*	۲۲۰۵°C (۴۰۰۰°F)	شکننده	بی‌اثر، خلأ، کاهنده	۲۶۱۰°C (۴۷۳۰°F)	استحکام حرارتی نسبتاً خوب؛ حساس به اکسایش در بالای ۵۰۰°C (۹۳۰°F)، مقاوم در برابر بسیاری از فلزات مایع و بیشتر شیشه‌های مذاب
تانتال**	۲۴۸۲°C (۴۵۰۰°F)	چکش‌خوار	بی‌اثر، خلأ	۳۰۰۰°C (۵۴۲۵°F)	مقاوم در برابر بیشتر اسیدها و بازهای ضعیف؛ بسیار حساس به اکسایش در بالای ۳۰۰°C (۵۷۰° F)
آلیاژ پلاتین-رودیم	۱۶۷۷°C (۳۰۵۰°F)	چکش‌خوار	اکسنده، بی‌اثر، خلأ	۱۸۷۵°C (۳۴۰۰°F)	در ۱۰۹۳°C (۲۰۰۰°F) مورد حملهٔ SO_2 قرار نمی‌گیرد؛ سلیس زیان‌آور است؛ در دماهای زیاد هالوژنها حمله می‌کنند
اینکونل ۶۰۰	۱۱۴۹°C (۲۱۰۰°F)	چکش‌خوار	اکسنده، بی‌اثر، خلأ	۱۴۱۰°C (۲۵۷۰°F)	مقاومت عالی در برابر اکسایش در دمای زیاد؛ در بالای ۵۳۸°C (۱۰۰۰°F) در حضور گوگرد استفاده نمی‌شود؛ هیدروژن تمایل به شکننده کردن آن دارد.

* فلزات نسوز در بالای ۲۶۰°C (۵۰۰°F)، شدیداً به اکسیژن، حتی در حد ناچیز، حساس‌اند. از آنها باید در خلأ یا در گازهای بی‌اثر بسیار خالص مانند هلیم و آرگون استفاده کرد.

** مناسب برای تماس با جوّهای کاهنده معین و نیز گازهای بی‌اثر و خلأ.

سیمهای ناهمسان ترموکوپل را باید عایق کاری کرد . مرسوم است از سرامیک استفاده کنند .



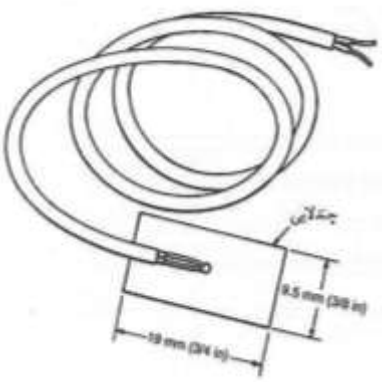
۸ عایقهای سیم ترموکوپل. (الف) اندازهٔ قطر سوراخ، از چپ به راست: ۲٫۳، ۲٫۴، ۲٫۰، ۱٫۶، ۱٫۲، ۰٫۸ و ۰٫۴mm (۱/۸، ۳/۳۲، ۵/۶۴، ۱/۱۶، ۳/۶۴، ۱/۳۲ و ۱/۶۴ اینچ). (ب) کاربرد عایقها در انواع مختلف ترموکوپلها.

8-8) ترموکوپل های ویژه

علاوه بر ترموکوپلهای صنعتی سنتی که شرح داده شدند،کاونده ها سطحی وگونه های چسبدار نیز وجود دارند. ترموکوپل های غلاف دار فلزی با قطر بیرونی کوچک تا0.25mm را می تواند ایجاد کرد .در نوع سیمی، تار ترموکوپل های 0.013mm را می توان ساخت .

کاوندهای سطحی نوع E و k دربازار موجود است . معمولاً نوع E به دلیل صحت زیادش در بیشتر کاربردهای دمای کم ، ترجیح داده می شود . در جای که باید دماهای زیاد اندازه گرفته شود ،از نوع k اتفاده می شود.معمولاً از نوع J و T به صورت کاونده استفاده نمی شود .

در سالیان اخیر ، مقبولیت گونه های چسب دار افزایش یافته است . درتکنیکهای ویژۀپاسخ دهی سریع از کوپلهای ورقه ای نازک استفاده می شود که با چند لایی های پلاستیکی مستقیماً بر تجهیزات می چسبد. تمام حسگر در بین دولایه بسپار دمای زیاد قرار می گیرد که با شیشه نازک تقویت شده اند . این دو لایه علاوه بر تأمین سطحی سخت برای چسبیدن ، بخش ورقه ای را محافظت و از نظر الکتریکی آن را عایق می کند . به طور کلی ، چند لایی بسپار– شیشه ، حداکثر دمای ساختار را مشخص می کند ، که در عملیات پیوسته برابر $260°C$ است . شکل روبه رو یک ترموکوپل چسب دار را نشان می دهد.

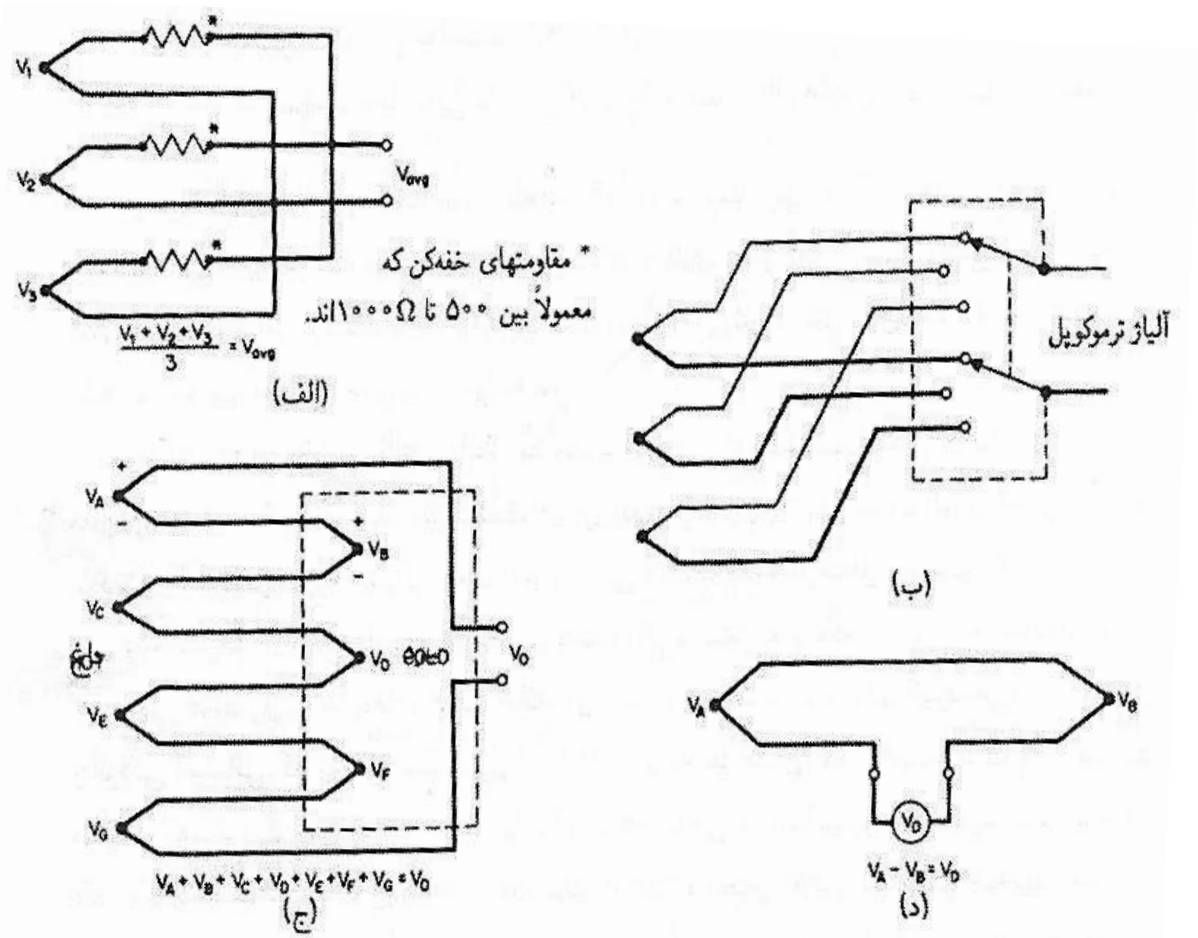


8-9) انعطاف پذیری مدار ترموکوپل

معمولاً تصور بر آن است که در هر لحظه برای یک اندازه گیری دما از یک ترموکوپل استفاده می شود . از ترموکوپلها می توان به صورت موازی ،متوالیو در مدارسوییچینگ و تفاضلی استفاده کرد .

آرایش سری، اصلاً جهت افرزایش حساسیت ترموکوپل استفاده می شود . همۀ اتصالات اندازه گیری در یک دما نگهداشته می شوند وهمه اتصالات مرج در دمای دیگری قرار می گیرند. این آریش ترموکوپلها، اغلب به نام ترموپیل نامیده می شود و برای n تعداد ترموکوپل ، خروجی آرایش فوق n برابر خروجی یک ترموکوپل تنها خواهد بود یک نمونه تجاری ترموپیل از جنس کرومال – کنستانتان داری ۲۵ اتصال در حدود $0.5mV/°C$ مقدار خروجی آن است .

آرایش موازی ، در صورتی که اتصال سرد و مرجع در دماهای یکسان باشند مثل یک ترموکوپل واحد ،دما را اندازه می گیرد . اگر اتصالات اندازه گیری در دماهای مختلف قرار داده می شوند و تمام ترموکوپلها داری مقاومت یک سان باشند ، ولتاژ خروجی،مقدار متوسط ولتاژهای جداگانه خواهد بود. دمای مربوط به ولتاژ خروجی دمای متوسط است (تازمانی که ترموکوپل ها در فاصله دمای اندازه گیری رفتار خطی داشته باشند).



۱۰ استفاده از ترموکوپل در حالت چندتایی. (الف) ترموکوپلهای موازی، (ب) ترموکوپلها در مدار سوییچ. سوییچ باید همدما یا از همان جنس آلیاژ ترموکوپل باشد. (ج) ترموکوپلهای متوالی (ترموپایل). توجه: V_B، V_D و V_F در قیاس با V_A، V_C، V_E و V_G، ولتاژهای ترموکوالکتریکی منفی‌اند. اما، آلیاژها نیز برعکس می‌شوند و در نتیجه ولتاژ خالصی به‌دست می‌آید. (د) مدار تفاضلی. توجه: به‌دلیل ناخطی بودن EMF ترموکوپل نسبت به‌دما، نمی‌توان جبران اتصال سرد را به درستی برای ولتاژ خروجی انجام داد. در صورت معلوم‌بودن دمای مطلق می‌توان از تقریب استفاده کرد.

8-10) وارسی ترموکوپل

صاحب نظران پیشنهاد می کنند که میزان بودن ترموکوپل به طور سالیانه یا حداقل شیش ماه یک بار وارسی شود . باتوجه به جدول های نگهداری و تجربه قبلی باید مشخص کرد چه وقت ترموکوپل باید عوض شود ،پیش از آنکه تغییر عمده ای در میزان (کالیبره) بودنش ایجاد شود . این مسئله به ویژه در مورد حسگرهای فلز پایه اهمیت دارد .

وارسی بعدی یعنی وارسی پس از نصب اولیه را باید در محل انجام داد . کالیبراتورهای دستی که قادر به اندازه گیری و شبیه سازی سیگنال ترموکوپل اند، به راحتی قابل تهیه اند و کالیبره کردن محلی را آسان می کنند.

وارسی مقاومت ترموکوپل ها برای تعیین وضعیت حسگر مؤثر است . برای مثال ؛ معمولاً مقاومت پایین نشان دهندۀ وضعیت رضایت بخش است ،درحالی که مقاومت زیاد نشان می هد که ممکن است تروکوپل در حال رسیدن به پایان عمر مفیدش است . برای تعیین نصب درست ، به ویژه در مورد ترموکوپل های (دست ساز) استفاده از آهن ربایی کوچک مفید است . برای مثال ؛ عنصر گرمایی مثبت ترموکوپل نوع J آهن است که مغناطیسی است،حال آنان که عنصر منفی ،کنستانتان، غیر مغناطیسی است.

در انتخاب ترموکوپل موارد زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد:

- رنج دمائی کار کرد ترموکوپل
- تیپ ترموکوپل و کلاس دقت آن
- طول ترموکوپل
- جنس غلاف ترموکوپل