

پاسخ حرارتی استرین گیج نصب شده

پاسخ حرارتی، به تغییرات سیگنال اندازه گیری شده در خروجی گیج به خاطر تغییرات دمایی محیط، تحت شرایطی که بارهای مکانیکی اعمالی به جسم تحت تست، صفر یا ثابت باشند، اشاره دارد. پاسخ به تغییرات دمایی در طول دوره اندازه گیری، یعنی با صفر کردن مقدار نشانگر یا ثبت مقدار مرجع ثابت، زمانی رخ می دهد که دمای جسم تحت تست یا محیطی که آن را احاطه کرده است، تغییر کند. اثرات دمایی روی اندازه گیری یک عمل بازگشت پذیر بوده و با برگشت دما به مقدار اولیه، اثرات آن نیز در خروجی ناپدید می شوند.

عوامل زیادی بر پاسخ دمایی گیج ε_v تاثیر می گذارند که عبارت اند از:

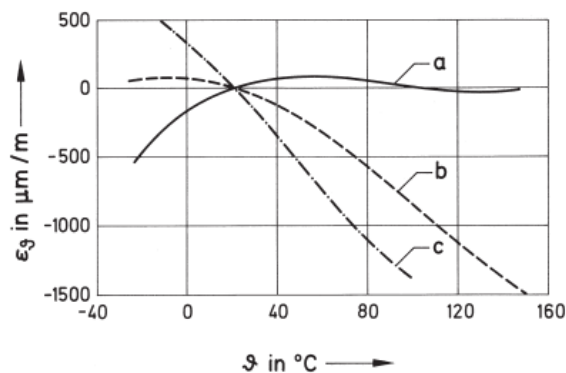
- 1 - ضریب انبساط حرارتی جسم تحت تست α_c
- 2 - ضریب انبساط حرارتی آلیاژ حساس به کرنش یا گریدهای اندازه گیری استرین گیج α_M
- 3 - ضریب حرارتی مقاومتی آلیاژ حساس به کرنش یا گریدهای اندازه گیری استرین گیج α_R
- 4 - بزرگی میزان تغییرات دما Δv که باعث ایجاد اثرات دمایی در سیگنال خروجی شده است.

علاوه بر اینها پاسخ حرارتی مقاومتی سیم های متصل به استرین گیج، که به صورت سری با گیج قرار گرفته است، می تواند در پاسخ دمایی نهایی تاثیر بگذارد.

یک رابطه تقریبی برای پاسخ حرارتی استرین گیج ها به شرح زیر می باشد.

$$\varepsilon_v = \left(\frac{\alpha_R}{k} + \alpha_c - \alpha_M \right) \Delta v \quad (1)$$

این رابطه برای سه ماده مختلف در زیر رسم شده است. توجه داشته باشید که رابطه بالا را فقط می توان برای رنج محدودی از دما استفاده کرد، زیرا پارامترهای k ، α_R ، α_c و α_M همگی وابسته به دما می باشند.



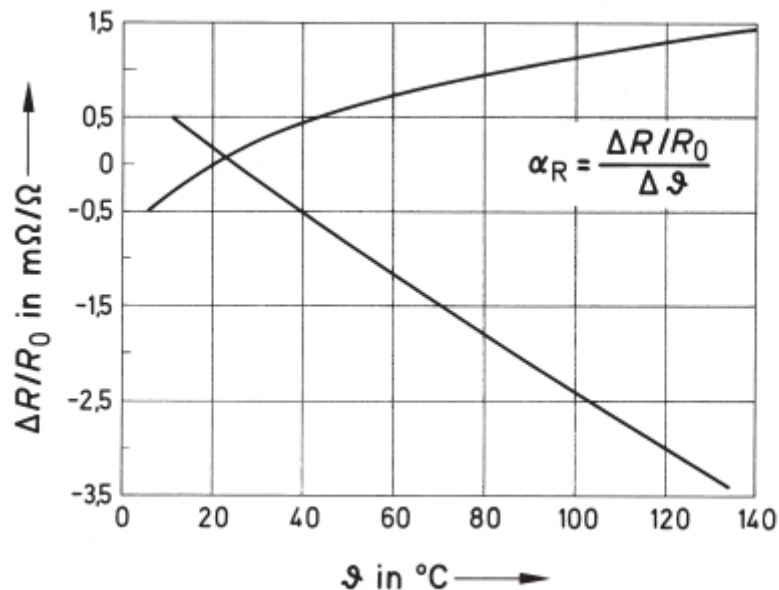
a	aluminum	$\alpha_C = 23 \cdot 10^{-6}/K$
b	steel	$\alpha_C = 12 \cdot 10^{-6}/K$
c	quartz	$\alpha_C = 0.5 \cdot 10^{-6}/K$

صلبیت کافی در جسم تحت تست برای اعتبار نمودار بالا در نظر گرفته شده است، به طوری که نیروهای ناشی از استرین گیج و چسب تاثیری ندارند. این فرض همیشه برای اجسام فلزی به غیر از اجزای بسیار نازک معتبر است.

هنگامی که جسم تحت تست علاوه بر بارهای مکانیکی اعمالی به آن، در معرض تغییرات دمایی هم قرار می گیرد، در این صورت مقدار اندازه گیری شده کرنش در سیگنال خروجی مجموعی، از کرنش های حرارتی و مکانیکی خواهد بود. بخش حرارتی سیگنال اندازه گیری شده در واقع خطای حرارتی به حساب می آید و باید از خروجی حذف گردد. برای حذف این خطا می توان از گیج های خود-جبران ساز حرارتی و یا از تکنیک های حذف اثر دما استفاده کرد.

استرین گیج های خود-جبران ساز دما:

با استفاده از روش های تولیدی خاص، می توان استرین گیج ها را طوری طراحی و تولید کرد که پاسخ حرارتی آن در یک محدوده دمایی محدود به حداقل برسد. در واقع حین تولید استرین گیج، ضریب حرارتی مقاومتی آلیاژ گریدهای اندازه گیری گیج را می توان تغییر داد. این عمل را می توان با افزودن مواد آلیاژی اصلاحی به کنستانتان که آلیاژ اصلی مورد استفاده است و همچنین با عملیات حرارتی به دست آورد. شکل زیر مقادیر مثبت و منفی قابل دستیابی برای این پارامتر را نشان می دهد.

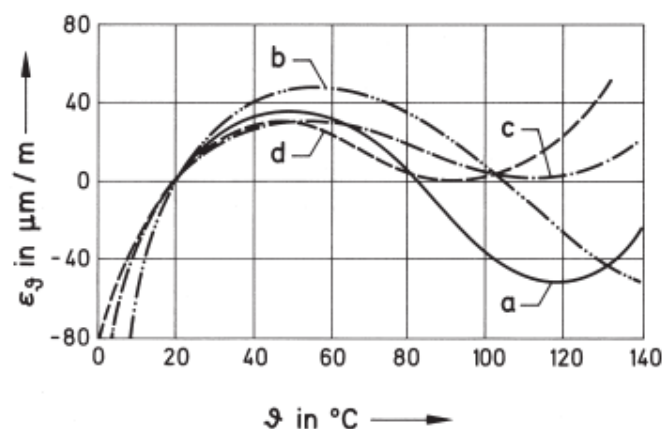


ضریب حرارت مقاومتی کنستانتان برای آلیاژهای مختلف

برای جبران خطای پاسخ حرارتی گنج، مقدار α_R باید طوری تنظیم شود که رابطه زیر را برآورده سازد.

$$\alpha_R = (\alpha_M - \alpha_C)k$$

جبران کامل اثرات دمایی در این رابطه امکان پذیر نیست. زیرا پارامترهای بالا عبارت های غیرخطی در خود دارند که در اینجا از آنها صرف نظر شده است. شکل زیر چند نمونه از پاسخ حرارتی این گنج ها را که برای مواد مختلف با ضرایب انبساط حرارتی مختلف تطبیق داده شدند، نشان می دهد.

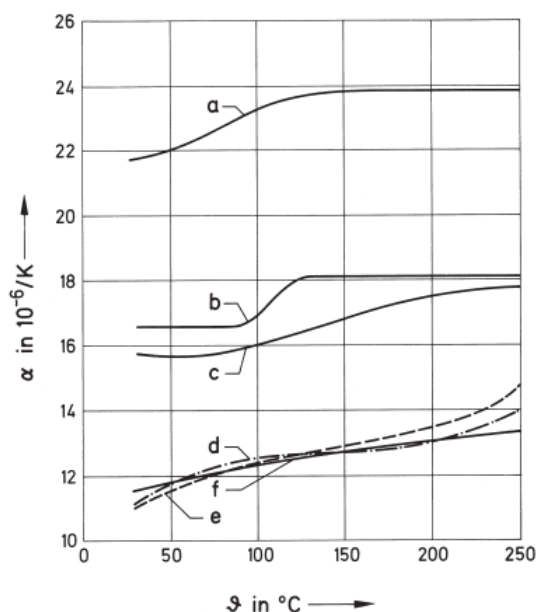


پاسخ حرارتی گنج های خود-جبران ساز برای مواد مختلف (a) تتالیوم (b) استیل فريتی (c) استیل آستینیتی (d) آلیاژ آلومنیوم

به این نوع از استرین گیج ها اصطلاحاً "استرین گیج با ضریب حرارتی تطبیق یافته" یا "استرین گیج خود-جبران ساز حرارتی" می گویند. این گیج ها باید روی موادی نصب شوند که ضریب انبساط حرارتی آنها دقیقاً مطابق با ماده ای باشد که منحنی های بالا از روی آن ماده استخراج شده اند. عوامل زیادی در عمل وجود دارند که باعث می شوند این فرض به طور کامل در عمل تحقق نیابد. شکل زیر ضریب انبساط دیفرانسیلی حرارتی را برای مواد مختلف نشان می دهد. همانطور که از نمودار مشخص است، برای مواد یکسان، عملیات حرارتی یا آنیل کردن و همچنین عملیات نورد روی آنها باعث تغییر مشخصات فیزیکی آنها از جمله ضریب انبساط حرارتی آنها می شود. مطمئناً یک استرین گیج خود-جبران ساز دما نمی تواند چنین ناهنجاری هایی را جبران کند. انحراف در مشخصه های دمایی ماده از منحنی های ارائه شده برای استرین گیج را نباید به استرین گیج نسبت داد. جبران این خطاهای باقیمانده با استفاده از تکنیک های حذف اثر دما از خروجی گیج امکان پذیر است.

ضریب انبساط حرارتی ماده به عوامل زیر بستگی دارد:

- 1 - جنس و ترکیبات ماده
- 2 - عملیات حرارتی روی ماده
- 3 - سابقه قبلی سرد کاری
- 4 - سطح دما
- 5 - مدت زمان در دماهای بالا



- a. aluminum alloy AlCuMg2
- b. austenitic steel X5CrNi18 9, rolled
- c. austenitic steel X5CrNi18 9, annealed
- d. tool steel 50CrV4, rolled
- e. tool steel 50CrV4, annealed
- f. constructional steel St37

با توجه به موارد بالا ممکن است که یک ماده دارای سه ضریب انبساط حرارتی کاملاً متفاوت را در نتیجه سه عملیات حرارتی مختلف از خود نشان دهد، علاوه بر این، ضرایب انبساط حرارتی می تواند با دما در هر سه حالت متفاوت باشد.

تطبیق استرین گیج های خود-جبران ساز دما با ضریب انبساط حرارتی مواد، روی سطوح صاف بهینه تر است و زمانی که سطح نصب دارای منحنی با شعاع کوچک باشد، میزان انحراف در خروجی از منحنی های ارائه شده توسط شرکت سازنده بیشتر خواهد بود.

برای نصب صحیح استرین گیج ها باید شرایط زیر رعایت شود:

روی سطوح صاف، استرین گیج ها دقیقاً انبساط حرارتی مواد را دنبال می کنند، یعنی کرنش روی سطح و کرنش استرین گیج ها با هم برابر هستند. رابطه (1) این موضوع را بیان می کند. شکل زیر این موارد برای بیان واضحتر بزرگ نمایی شدند.

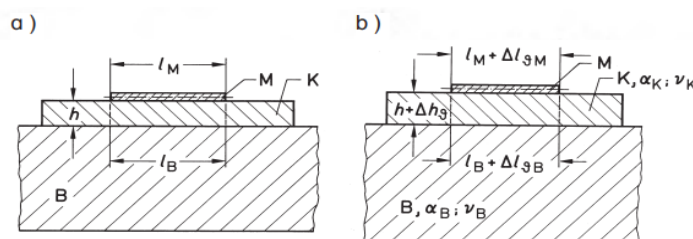
به منظور سادگی کار، شبکه اندازه گیری گریدها و چسب به عنوان یک ماده در نظر گرفته می شوند.

با تغییر دما به اندازه Δv ، طول جسم تحت تست که قبلاً l_c بود، به اندازه Δl_{vc} تغییر می کند. استرین گیج مجبور به دنبال کردن این تغییرات طول می باشد. طول گریدهای اندازه گیری گیج که قبلاً l_M بود به اندازه Δl_{vM} تغییر می کند.

بنابراین اگر:

$$l_c = l_M, \quad \Delta l_{g0} = \Delta l_{gM}.$$

باشد. کرنش ها نیز با هم برابر هستند. یعنی:



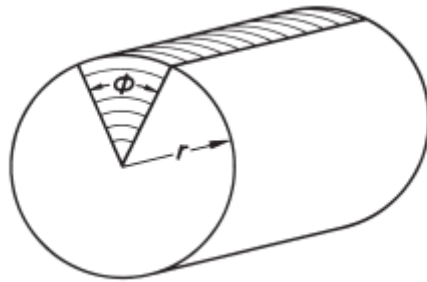
- C جسمی که گیج روی آن نصب شده است
- M گریدهای اندازه گیری گیج
- A لایه میانی که از چسب و ماده حامل گریدها تشکیل شده است
- H ضخامت لایه A

اثر تغییرات دما بر گیج چسبانده شده روی سطح هموار (a) وضعیت اولیه در دمای v_0 (b) وضعیت در دمای $v_0 + \Delta v$

$$\frac{\Delta l_{vc}}{l_c} = \varepsilon_{vc} \quad \frac{\Delta l_{vM}}{l_M} = \varepsilon_{vM} \quad \varepsilon_{vc} = \varepsilon_{vM}$$

افزایش ضخامت لایه h به مقدار Δh_v تأثیری بر شرایط کرنش ندارد، زیرا اگر یک استرین گیج به درستی نصب شده باشد، تغییرات طولی را روی سطح به صورت دقیق دنبال خواهد کرد.

حالا روابط را روی یک سطح استوانه ای بررسی می کنیم. همانند شکر زیر یک بخشی از استوانه را که گیج روی آن نصب شده است در نظر می گیریم.



انبساط حرارتی در راستای محوری در امتداد لایه سطحی جسم، همانند و برابر با یک سطح هموار می باشد. یعنی:

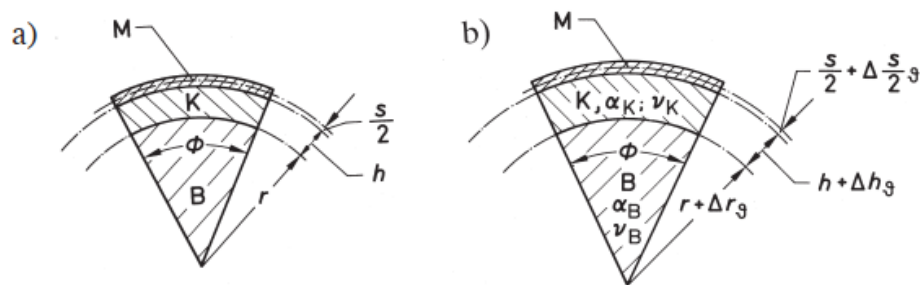
$$\varepsilon_{gc} = a_c \cdot \Delta \vartheta.$$

در راستای محیطی، انبساط حرارتی برابر است با:

$$\varepsilon_{vc} = \frac{r\phi\alpha_c\Delta v}{r\phi} = \alpha_c\Delta v$$

همانطور که انتظار می رفت انبساط حرارتی در این حالت نیز مانند یک سطح صاف است.

بخشی از استوانه که تحت بررسی ماست، در شکل زیر به همراه جزئیات سطح مقطع آن آورده شده است.



ضخامت گریدهای اندازه گیری گنج s
به شکل قبلی مراجعه شود $A, C, M, h,$

بخشی از استوانه که گنج روی آن نصب شده است (a) وضعیت اولیه در دمای v_0 (b) وضعیت در دمای $v_0 + \Delta v$

هنگام گرم کردن استوانه، بخش های s, h و r به دلیل ضرایب انبساط حرارتی مختلف، به یک اندازه تغییر نمی کنند. همچنین در لایه های A و M به دلیل انقباض پواسون یک تغییر اضافی در ضخامت این لایه ها هم دیده می شود. در نتیجه، انبساط حرارتی گریدهای اندازه گیری گنج ϵ_{vM} روی سطح منحنی با سطح صاف متفاوت است.

نتیجه گیری:

- پاسخ حرارتی نقطه اندازه گیری استرین گنج، به هندسه آن قسمت بستگی دارد. پاسخ حرارتی برای حالتی که گریدهای اندازه گیری گنج در راستای یک سطح منحنی نصب می شوند، متفاوت تر از حالتی است که گریدهای اندازه گیری در راستای یک سطح صاف نصب می شوند.
- تفاوت پاسخ حرارتی بین حالت های منحنی و سطوح صاف، با افزایش شعاع سطح منحنی، کاهش می یابد.
- اگر ضریب انبساط حرارتی سطح منحنی شبیه به ضریب انبساط حرارتی ماده حامل گنج و چسب باشد، تأثیر انحنای کمتر می شود.
- علامت پاسخ حرارتی برای یک سطح مقعر برعکس یک سطح محدب است.
- برای مواد فلزی، تغییر در پاسخ دما با افزایش ضخامت چسب افزایش می یابد.
- کرنش سنج های خود-جبران ساز دما برای نصب بر روی سطوح صاف طراحی شده اند. جبران موثر همانطور که توضیح داده شد در سطوح منحنی کاهش می یابد.

رانش های حرارتی (Thermal drifts):

رانش حرارتی عمدتاً در اثر تغییرات ریزساختاری و اکسیداسیون یا خوردگی شبکه اندازه گیری گنج ایجاد می شود یا ممکن است به دلیل فرآیندهای کاهش تنش در گنج یا

چسب در نتیجه تاثیرات حرارتی باشد. رانش حرارتی بستگی به دما و زمان دارد. این پدیده باعث تغییرات غیر قابل برگشت به نقطه صفر در استرین گیج نصب شده می شود. سهم قابل توجهی در رانش، توسط ترکیبات آلیاژی و وضعیت عملیات مکانیکی و حرارتی مواد شبکه اندازه گیری گیج یا همان گریدهای آن انجام می شود. از این رو، مواد نورد سرد در گریدهای اندازه گیری، رانش بارزتری را نشان می دهند که در دماهای نسبتاً پایین به عنوان مثال در 100 درجه سانتیگراد آشکار است. در حالی که آلیاژهای نرم دارای رانش کمتری هستند. همانند پاسخ دما، «تاریخچه مکانیکی» گیج نیز تأثیر در رانش تأثیر دارد. بنابراین، یک ماده نرم می تواند به وسیله کرنش های وارد شده به آن در ناحیه پلاستیک یا با بارگذاری دینامیکی سرد کار شود که منجر به تغییراتی در ویژگی های آن می شود. تغییر شکل پلاستیک می تواند تحت برخی شرایط در نتیجه انبساط حرارتی متفاوت در شبکه اندازه گیری و جسم تحت تست ایجاد شود. به طور مشابه، استفاده نادرست از استرین گیج در حین استفاده نیز ممکن است باعث رانش شود. چسب ها نیز به رانش کمک می کنند از این رو، انواع مشابه استرین گیج ممکن است ویژگی های رانش متفاوتی از خود نشان دهند، بسته به اینکه مثلاً با چسب سرد یا کوره ای چسبانده شوند.

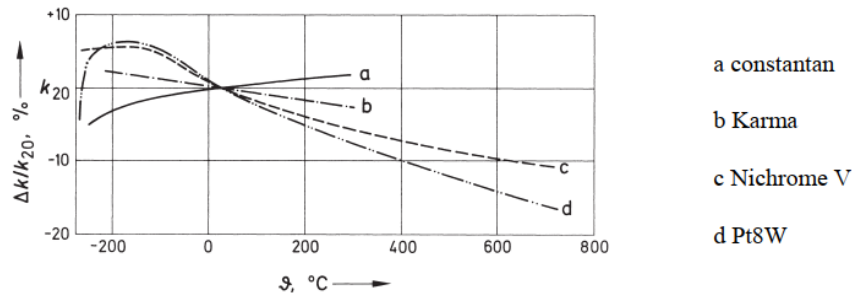
در محدوده دمای بالا، اثرات متالورژیکی تأثیر قابل توجهی بر ویژگی های رانش استرین گیج ها دارد.

رانش حرارتی فقط در اندازه گیری هایی که از مرجع ثابتی مثلاً صفر برای اندازه گیری استفاده می کنند، خطا ایجاد می کند. بخشی از خطا را می توان با اثرات جبرانی مدار پل و تستون با استفاده از مدارهای نیم پل یا تمام پل و همچنین با پل های یک چهارم و دو ربع در صورت استفاده از گیج های جبران کننده برطرف کرد.

وابستگی حساسیت به دما:

حساسیت یک کرنش سنج با فاکتور گیج آن بیان می شود. مقدار فاکتور گیج نوشته شده در بسته بندی استرین گیج در دمای اتاق قابل استفاده است. و مقدار آن در دماهای دیگر تغییر می کند و بسته به مواد مورد استفاده در گریدهای اندازه گیری گیج می باشد. شکل زیر تغییرات فاکتور گیج

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.



نسبی را در رابطه با دما برای چهار آلیاژ گریدهای اندازه گیری معمولی نشان می دهد.