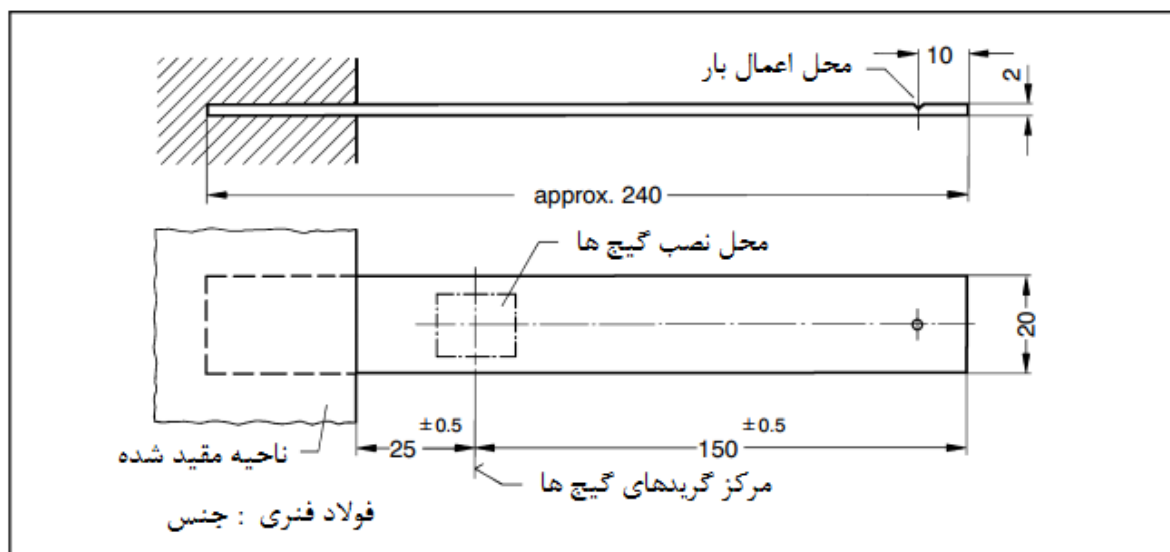


ملاحظات عملی در انتخاب هندسه عنصر ارتجاعی

همانطور که قبلا در بخش مقدمه گفته شد، بسیاری از مفاهیم ساخت مبدل را می خواهیم از طریق یک مثال جلو ببریم. در این بخش می خواهیم عنصر ارتجاعی مبدلی را که می خواهیم به عنوان مثال برای تشریح قسمت های مختلف آن استفاده کنیم، انتخاب کنیم. برای این منظور ساده ترین انتخاب شاید "میله برشی" یا "تیر برشی" باشد، که در عین ساده بودن می تواند بسیاری از مفاهیم ساخت مبدل را پوشش دهد.



شکل 1: نقشه عنصر ارتجاعی تیر خمشی برای در نظر گرفتن ملاحظات عملی ساخت مبدل ها

یکی دیگر از مزیت های انتخاب این عنصر ارتجاعی، این است که محاسبات مکانیکی آن ساده تر است.

همانطور که در بخش های قبلی عنوان شد اگر از این عنصر ارتجاعی ساده به عنوان مبدل استفاده شود، تعیین یک نقطه ثابت و غیرقابل تغییر برای اعمال بار جهت ثابت نگه داشتن طول موثر بازوی اهرم، ضروری است. برای تحقق این شرط، یک سوراخ در مرکز نقطه ای که قرار است

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

بار از آنجا به مبدل اعمال شود، ایجاد شده است، تا با قرار دادن یک پیستون داخل این سوراخ، نیرو به پیستون اعمال شده، و در نتیجه از جابجایی نقطه اعمال بار جلوگیری می شود.

استرین گیج ها در فاصله 150 میلی متری از نقطه اعمال بار (تا مرکز استرین گیج) بر روی عنصر ارتجاعی نصب شده اند. این فاصله متناظر با طول موثر بازوی اهرمی می باشد. برای ثابت نگه داشتن این عنصر ارتجاعی، انتهای آن توسط پیچ روی یک جسم ثابت جامد پیچ شده است.

انتخاب جنس مواد:

ویژگی های عنصر ارتجاعی یک مبدل اندازه گیری کامل، بستگی زیادی به جنس مواد به کار رفته در آن و همچنین به شکل هندسی آن دارد.

مواد به کار رفته در عنصر ارتجاعی باید شرایط و ویژگی های زیر را داشته باشد:

- ساختار ریزدانه ای آن کامل همگن باشد.

- تغییر شکل ارتجاعی، خواص کشسانی و نقطه تسلیم بالایی داشته باشد.

- رفتار خزش خوبی داشته باشد.

- حلقه هیستریزیس یا همان پسماند پایینی کوچکی باشد.

- مدول ینگ آن کمترین وابستگی را به دما داشته باشد.

- هدایت گرمایی بالایی داشته باشد.

	Designation	Material-No.	Young's modulus (N/mm ²)	Approx. values temperature coeff. of Young's modulus $\Delta E / \Delta \theta$ (10 ⁻⁵ / K)	Thermal expansion coefficient α (10 ⁻⁶ / K)	Misc.
Spring steel	51CrV4	1.2241	210 000	-26	11	rusting
Spring steel	X5CrNi CuNb1744	1.4548	207 000	-19	11	stainless
Copper-beryllium	CuBe2	2.1247	130 000	-35	17	-
Aluminum	AlCuMg2	3.1355	73 000	-58	23	-

شکل 2: جنس مواد بکار رفته در عنصر ارتجاعی مبدل ها

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

اگر جنس ماده انتخابی، مدول ینگ پایینی را (در مقایسه با فولاد) داشته باشد، برای یک ظرفیت و ابعاد مشخص، می توان به حساسیت های بالایی دست یافت.

مواد لیست شده در شکل 2 شرایط گفته شده در بالا را برای عنصر ارتجاعی، در حد قابل قبولی دارا می باشند و به خاطر همین سال ها این مواد در تولید مبدل های مختلف در صنعت به کار می روند. به همین دلیل این مواد به عنوان مواد استاندارد برای ساخت مبدل ها شناخته می شوند.

تعیین محل نصب گیج ها:

تعیین محل نصب گیج ها، بستگی زیادی به شکل هندسی عنصر ارتجاعی انتخاب شده و همچنین نوع استرین گیجی که قرار است نصب شود، دارد. بنابراین در نظر گرفتن هر دوی این موارد به صورت هم زمان برای تعیین محل نصب گیج ها ضروری است.

استرین گیج ها:

برای دستیابی به بیشترین حساسیت ممکن، گیج ها باید در محلی نصب شوند که بیشترین کرنش در آنجا اتفاق می افتد. جهت بهره بردن هر چه بیشتر از مزیت های پل وتستون، مانند ایجاد سیگنال های خروجی بزرگتر و توانایی های جبران سازی پل وتستون، باید از چهار گیج فعال، که دوتای آنها برای اندازه گیری کرنش های کششی و دو تای دیگر برای اندازه گیری کرنش های فشاری به کار می رود، استفاده شود.

قطعات به کار رفته برای بالانس کردن و عمل جبران سازی در پل:

المان های بالانس و جبران سازی همانطور که بعدا توضیح داده خواهد شد، می توانند به همان روش گیج های اصلی، روی عنصر ارتجاعی نصب شوند.

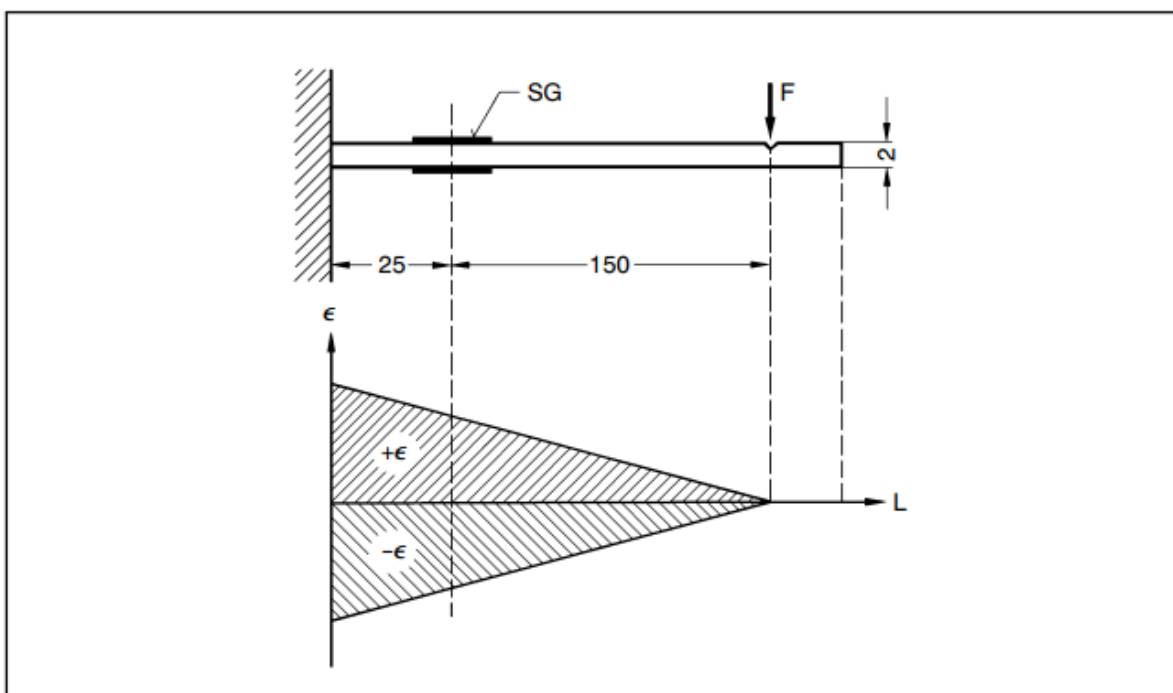
برای انتخاب موقعیت نصب این المان ها، در نظر گرفتن دو شرایط متناقض زیر ضروری است: اول اینکه این المان ها باید در جایی که کرنش در آنجا حداقل است، نصب شوند. تا مقاومت الکتریکی آنها در اثر اعمال بار مکانیکی، تغییری نداشته باشد. این به این معنی است که این المان ها باید در فاصله زیادی از جایی که کرنش ها در آن ناحیه حداکثر است نصب شوند. یعنی دور از جایی که گیج های اصلی آنجا نصب شده اند. از طرف دیگر المانهایی که مقاومت آنها با دما تغییر می کند، باید روی عنصر ارتجاعی و خیلی نزدیک به گیج های اصلی نصب شوند، تا این المان ها

دقیقا هم دما با گيج های اصلی باشند و پاسخ حرارتی آنها به تغییرات دما سریع باشد. در این شرایط، اولویت با برآورده ساختن شرایط دمایی می باشد، زیرا این المان ها حساسیت کمتری نسبت به کرنش های ایجاد شده دارند.

علاوه بر موارد بالا، انتخاب محل نصب گيج ها و المان های مربوطه باید طوری باشد که در اتصالات مداری تقارن حاصل شود و سیم های اتصال در حد امکان باید کوتاه در نظر گرفته شوند.

ملاحظات عملی در تعیین موقعیت نصب گيج های اندازه گیری کرنش:

شکل 3 توزیع کرنش روی عنصر ارتجاعی انتخاب شده برای این مثال را به همراه دامنه و علامت آن نشان می دهد. مطابق با این شکل، باید دو عدد از گيج ها روی سطح بالا و دو عدد دیگر روی سطح پایینی عنصر ارتجاعی و نزدیک به محل مهار عنصر ارتجاعی، یعنی پیچ های مهار نصب شوند. این دید تئوری که گيج ها

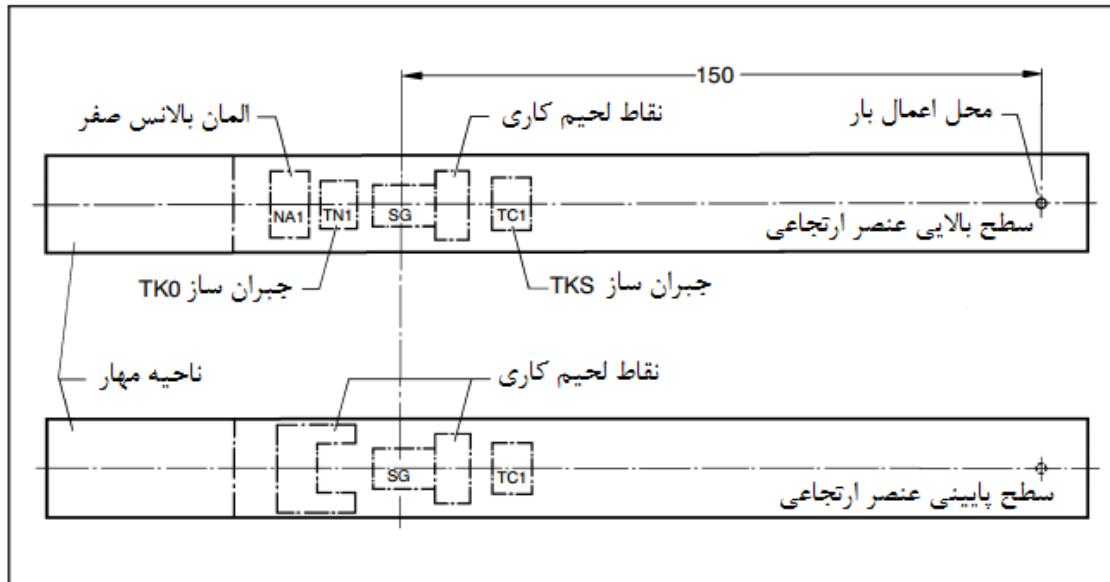


شکل 3: توزیع کرنش و محل نصب گيج ها- مثال عملی

برای تجربه ماکزیمم کرنش باید در محل نزدیکی پیچ های مهار نصب شوند، در عمل قابل پیاده سازی نیست. زیرا پیچ های اتصال ممکن است باعث ایجاد تداخلاتی در کرنش های نزدیک به این محل باشند، و در نتیجه باعث شوند توزیع کرنش در این ناحیه غیریکنواخت گردد. از طرفی المان جبران ساز نقطه صفر دمایی به خاطر برآورده کردن الزاماتی که در بالا گفته شد، باید

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

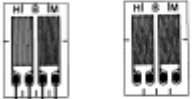
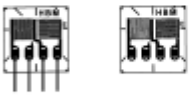
نزدیک گیج ها نصب شود. با در نظر گرفتن این دو مورد، و همچنین برای ایجاد ساختار مداری ساده و سیم کشی های متقارن عملی، محل نصب گیج ها دور از پیچ های اتصال در نظر گرفته می شود.



شکل 4: تعیین موقعیت های نصب المان های مختلف مبدل

انتخاب استرین گیج ها:

در انتخاب پترن و هندسه استرین گیج، پارامتر و هدف اندازه گیری و همچنین نوع عنصر ارتجاعي، باید در نظر گرفته شود. در جدول زیر چندین نوع از استرین گیج های شرکت HBM برای کاربردهای مختلف آورده شده است.

Basic form / Type	Designation	Application
 LK 11/13 LK 21/23	Linear-SG	To detect strains in one direction. When single SG individually aligned in direction of principal strain basically usable for all transducer designs. Preferably where use of single SG's is unavoidable, e.g., on narrow webs.
 LK 31/33 LK 41/43	Linear-SG	as above In special cases, different connection geometry to the basic form facilitates the shortest possible and symmetrical wiring within the bridge.
 DK 11/13 DK 21/23	Double-SG with parallel measuring grids	Specially suitable for simple bending beams to measure strains on the top and bottom surfaces with positive and negative strains respectively. Less expensive, since the half-bridge can be installed in a single working step.
 XK 51/53 XK 61/63	SG-rosette T-form measuring grids at 90° to each other	Specially suitable for tensile and compression rods. The mutually perpendicular grids measure longitudinal strain (positive signal) and transverse strain (negative signal). Less expensive, since the half-bridge can be installed in a single working step.
 XK 11/13 XK 21/23	SG-rosette V-form "Firtree", measuring grids are each at 45° to axis of symmetry	Special for torsion shafts and shear beams. The measuring grids are aligned with the direction for principal strain. Less expensive, since the half-bridge can be installed in a single working step.
 MK 11 MK 21	Diaphragm rosette	Specially designed for diaphragm-type pressure transducers. Less expensive, since the full bridge can be installed in a single working step.

جدول 1: انواع مختلفی از گيج های شرکت HBM برای کاربردهای مختلف

پایه های اتصال گيج ها:

تمامی استرین گيج های موجود در بازار معمولاً از نظر اتصالات، در دو نوع عرضه می شوند که عبارت اند از:

1- استرین گيج هایی به همراه سیم های اتصالات لحیم شده به آن و پوشش محافظ روی آن

2- استرین گيج هایی با پدهای لحیم کاری بدون پوشش محافظ

در کل، مورد اول استفاده عمومی بیشتری دارد. زیرا در این حالت نیازی به لحیم کاری خود گيج نیست، در نتیجه اینجا دیگر از روغن لحیم که یکی از عوامل اصلی ناپایداری گيج می باشد (در صورتی که به طور کامل پاک نشود)، استفاده نمی شود. همچنین لحیم کاری گيج نیاز به رعایت یک سری اصول و قواعد دارد که با انتخاب این نوع گيج ها دیگر درگیر این موارد نیستیم.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

همچنین پوشش محافظ روی این گیج ها، عملکرد گیج را پایدارتر می کند و از گریدهای اندازه گیری آن در مقابل آلودگی ها و آسیب های مکانیکی محافظت می کند.

با این حال گیج های نوع دوم نیز در مواردی که محدودیت فضا برای نصب وجود دارد، مورد استفاده قرار می گیرند.

طول گریدهای اندازه گیری:

طول گریدهای اندازه گیری گیج ها معمولاً از 3 میلی متر تا 6 میلی متر در بازار موجود می باشد. این نوع گیج ها بیشترین استفاده را در مبدل ها دارند.

انتخاب طول گیج، بستگی به ابعاد عنصر ارتجاعی و همچنین مسیر کرنش دارد. اگر روی عنصر ارتجاعی، جایی که قرار است گیج آنجا نصب شود، فضای کافی موجود باشد، و کرنش نیز در این ناحیه یکنواخت باشد، استفاده از گیج هایی با طول 6 میلی متر ترجیح داده می شود. زیرا در این حالت استرین گیج میانگین کرنش را روی یک ناحیه بزرگ اندازه گیری می کند و اثرات تغییرات محلی مانند ذرات کثیف حین نصب، در خروجی کمتر می شود. اگر مبدل قرار است با ولتاژهای بیشتر از 10 ولت کار کند، در این صورت نیز لازم است که از گیج هایی با طول بزرگتر استفاده شود. زیرا این گیج ها گرمای ایجاد شده را به خاطر بزرگ بودن سطح مقطع آنها، بهتر دفع می کنند. گیج های 3 میلیمتری باید جایی نصب شوند که محدودیت فضا در نصب گیج های بزرگ وجود دارد. در کل اولویت استفاده از گیج هایی با طول گریدهای بلندتر می باشد و اگر به هر دلیلی نتوانیم از این گیج ها استفاده کنیم باید سراغ گیج هایی با طول کوتاه تر برویم.

مقاومت الکتریکی گیج:

گیج هایی با مقاومت الکتریکی پایین تر، کمتر تحت تاثیر تداخلات الکتریکی نسبت به گیج های با مقاومت اهمی بالاتر قرار می گیرند. اما گیج هایی که مقاومت الکتریکی بالایی دارند، توان تلف شده روی آنها کمتر است، در نتیجه گرمای ایجاد شده روی گیج کمتر می باشد. همچنین اثرات سیم های اتصال در این گیج ها کمتر است.

با توجه به توضیحات بالا، اولویت در انتخاب گیج هایی با مقاومت بالا می باشد، زیرا این گیج ها توان مصرفی پایینی دارند و در سیستم هایی که از باتری تغذیه می شوند، این موضوع اهمیت زیادی پیدا

می کند.

جبران ساز حرارتی:

مواد از جمله فلزات در اثر تغییرات دمایی دچار انبساط و یا انقباض می شوند. هر ماده‌ای در فیزیک یک پارامتری به نام ضریب انبساط حرارتی دارد. مقدار این پارامتر میزان انبساط یا انقباض ماده را برای تغییرات دمایی معلوم، مشخص می کند. استرین گیج هایی که برای ساخت مبدل ها به کار می روند، طوری طراحی و تولید می شوند که بتوانند اثرات تغییرات دمایی را بر روی عنصر ارتجاعی ایجاد می شوند، جبران کنند. به این نوع از استرین گیج ها اصطلاحاً گیج های خود-جبران ساز حرارتی گفته می شود.

چون ضریب انبساط حرارتی برای مواد مختلف، متفاوت می باشد، معمولاً سازندگان استرین گیج ها، کدهای حرارتی مختلفی برای گیج های خود در نظر می گیرند، که هر یک از این کدها برای ماده‌ای با جنس مشخص مناسب می باشد. بنابراین متناسب با جنس مواد به کار رفته در عنصر ارتجاعی، باید کد حرارتی مناسب آن انتخاب شود.

جبران ساز خزش:

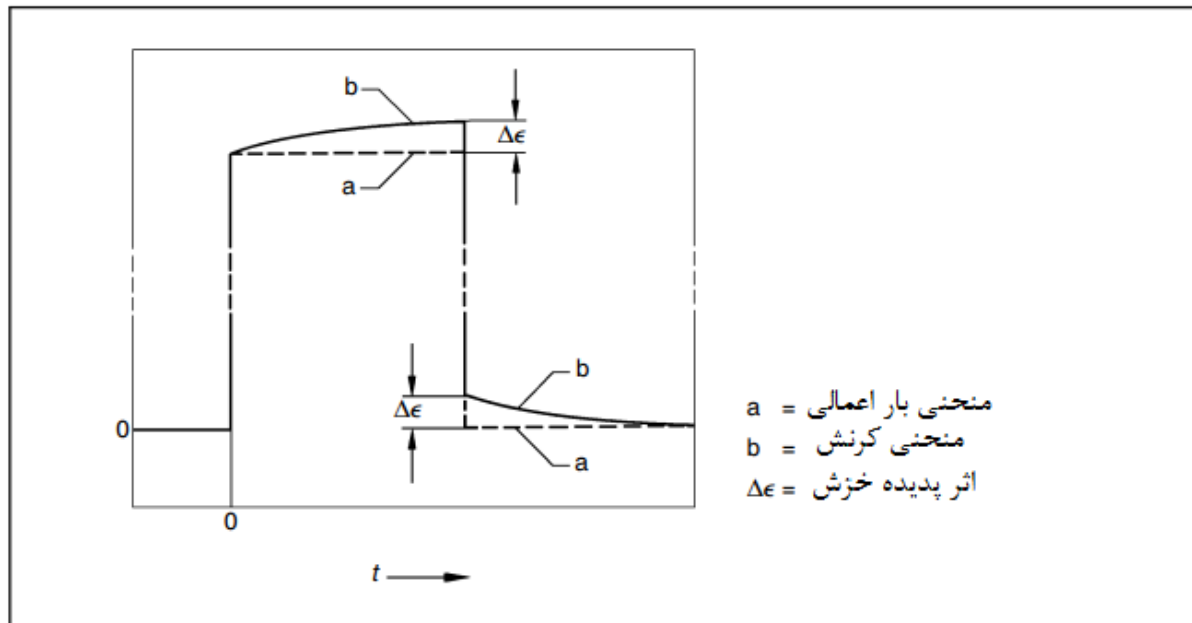
همه مواد بکار رفته در عنصر ارتجاعی، پدیده خزش را تجربه می کنند. یعنی بعد از تغییرات بار مکانیکی آنی در عنصر ارتجاعی، همچنان عنصر ارتجاعی به صورت آهسته مقداری کرنش (مثبت یا منفی) را در طول یک دوره زمانی معین، از خود نشان می دهد.

از آنجایی که در انتخاب جنس عنصر ارتجاعی محدودیت هایی وجود دارد، بنابراین اثر این پدیده در خروجی گیج باید جبران شود، و یا باید خطایی که این پدیده به وجود می آورد، تا حد امکان کاهش داده شود. دست کاری در گریدهای اندازه گیری استرین گیج، یکی از این روش ها می باشد. امروزه استرین گیج های فویلی این امکان را فراهم کرده اند که رفتار خزش آنها حین تولید طوری تنظیم شود که بتوانند خزش ایجاد شده در عنصر ارتجاعی را جبران کنند.

اثر خزش در عنصر ارتجاعی:

به عنوان یک قاعده کلی، تنش های ایجاد شده در عنصر ارتجاعی مبدل ها باید در ناحیه الاستیکی آن اتفاق بیفتد. به عنوان مثال اگر یک میله استیل در ناحیه الاستیکی خود، تحت بارهای مکانیکی کشسانی قرار بگیرد، روی این میله کرنش های آنی که مقدار آنها توسط قانون هوک قابل محاسبه است، ظاهر می شوند. همزمان با ریلکس شدن ماده، این کرنش آنی، با یک کرنش دیگری که مقدار آن به طور آهسته با زمان تغییر می کند، همراه خواهد بود. وقتی بار از روی میله برداشته شود، میله به همان میزانی که به صورت

آنی توسط بار اعمالی تغییر یافته بود، به حالت قبلی خود باز می گردد. چیزی که باقی می ماند، یک کرنش کوچک پسماند می باشد که قبلا در طول زمان به صورت آهسته ایجاد شده بود. این کرنش نیز به تدریج مقدارش کاهش می یابد تا میله به حالت اولیه اصلی خود باز گردد. به این پدیده "خزش الاستیک" می گویند. شکل زیر این پدیده را نشان می دهد.

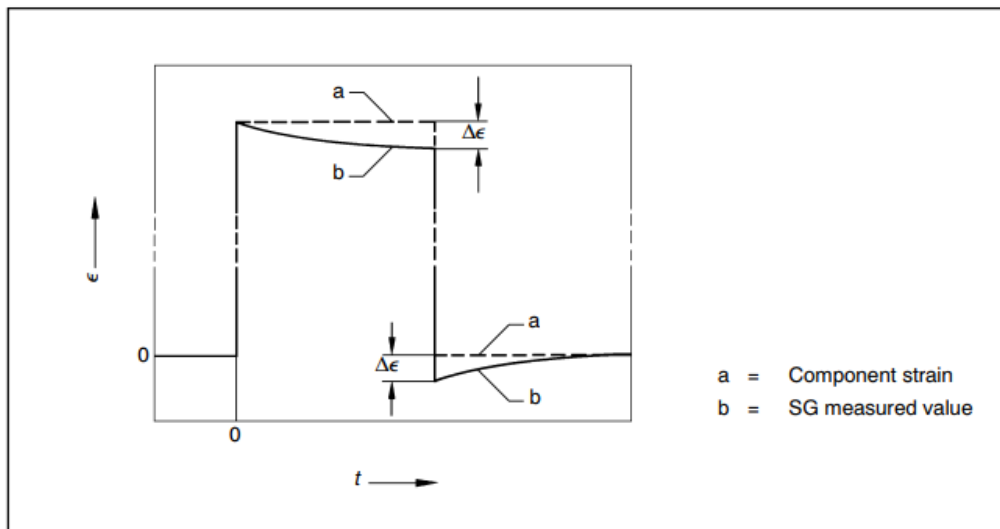


شکل 5: منحنی کرنش یک نوع المان زیر بار ثابت و بعد از برداشت کامل بار

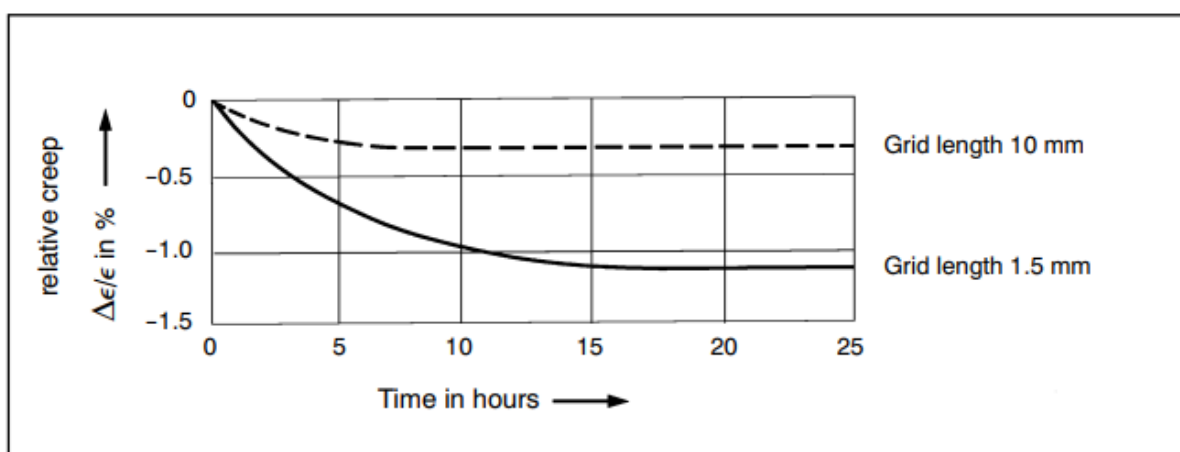
همانطور که از شکل 5 مشخص است پدیده خزش الاستیک در عنصر ارتجاعی، یک خطای مثبت وابسته به زمان ایجاد می کند.

خزش در استرین گیج:

اگر یک استرین گیج در معرض یک کرنش استاتیک قرار بگیرد، با وجود کرنش ثابت روی آن، تغییرات مقاومت وابسته به زمان در آن مشاهده خواهد شد. این تغییرات در خروجی سیگنال اندازه گیری شده در گیج تحت بار کشسانی (یا فشاری)، به صورت خیلی آهسته اتفاق می افتد. این پدیده یک خطای منفی وابسته به زمان در خروجی گیج ایجاد می کند (شکل 6).



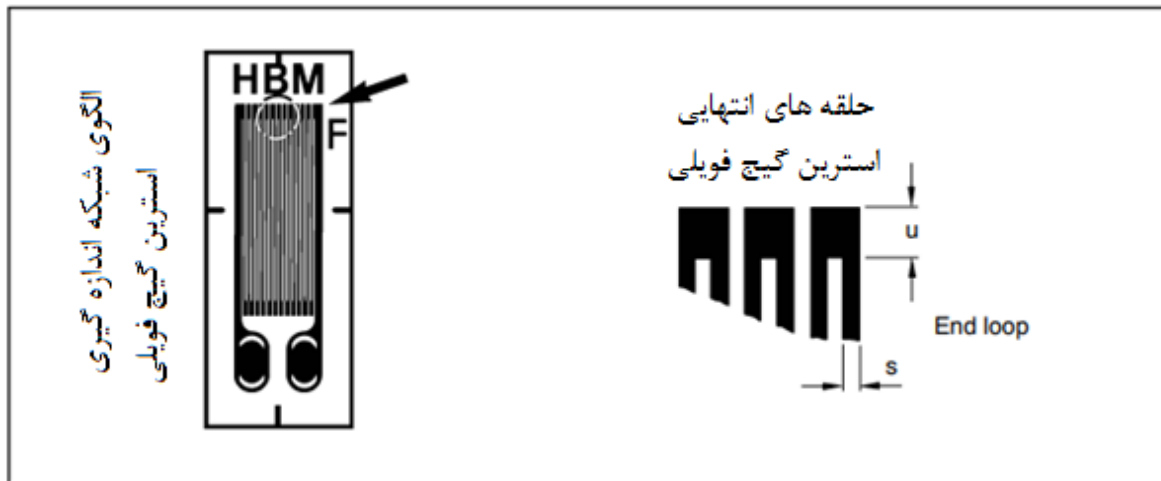
شکل 6: خروجی اندازه گیری شده یک استرین گیج بعد از اعمال بار آنی به یک المان و بعد از حذف آنی بار از روی آن از آنجایی که این فرآیند در انتهای گریدهای اندازه گیری نیز اتفاق می افتد، اثر آن در گیج های با طول کوتاه تر بیشتر از گیج های با گریدهای بلندتر می باشد.



شکل 7: مثالی از منحنی خزش برای نوع استرین گیج با طول های مختلف

می توان با کنترل حلقه های انتهایی گیج، میزان خزش استرین گیج را کنترل کرد. چون مواد مختلف دارای ویژگی های خزش متفاوتی می باشند، بنابراین گیج ها هم در حین تولید با کدهای خزش مختلفی تولید می شوند. همانطور که در شکل 8 نشان داده شده است می توان با تغییر نسبت طول حلقه های انتهایی گریدهای گیج U به عرض گریدها S میزان خزش در استرین گیج را کنترل کرد.

وقتی صحبت از پدیده خزش در استرین گیج می کنیم، نباید فراموش کرد که این پدیده علاوه بر خود گیج به عوامل مهم دیگری نیز ارتباط دارد. به عنوان مثال یکی از این عوامل مهم نوع و ضخامت چسب مورد استفاده می باشد، علاوه بر این دما نیز در پدیده خزش خیلی مهم است.

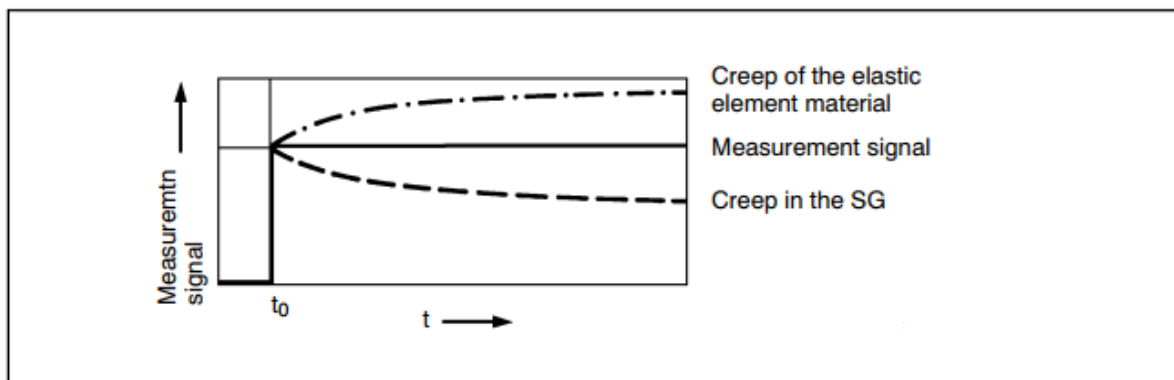


شکل 8: استرین گیج فویلی و حلقه های انتهایی آن

اثر جبران سازی خزش:

قبلا نشان داده شد که چطور یک استرین گیج خطای خزش منفی ایجاد می کند، و دیدیم که عنصر ارتجاعی نیز خطای خزش مثبت در خروجی ایجاد می کند. در حالت ایده آل مطابق شکل 9 این دو پدیده اثر هم دیگر را در خروجی خنثی می کنند.

از آنجایی که ویژگی های خزش عنصر ارتجاعی را نمی توان تغییر داد، بنابراین باید گیجی را انتخاب کرد که نزدیکترین خزش را نسبت به خزش عنصر ارتجاعی دارد.



شکل 9: حالت ایده آل جبران خطای خزش

به عنوان یک قاعده اساسی، گیج هایی که طول حلقه های انتهایی آنها کوتاه تر است خزش آنها منفی تر، و گیج هایی که طول حلقه های انتهایی آنها بلندتر است، خزش مثبت تر تولید می کنند.

از آنجایی که عوامل زیادی در ایجاد خطای خزش در مبدل وجود دارند، بنابراین تعیین مقدار خطای خزش

فقط به صورت عملی و از طریق اندازه گیری میسر است، بنابراین برای حذف خطای خزش، ابتدا باید استرین گیجی با کد میانی خزش روی عنصر ارتجاعی تست شود. از روی نتایج اندازه گیری، اگر خطای خزش اندازه گیری شده مثبت بود، باید سراغ گیج هایی رفت که نسبت به گیج نصب شده (انتخاب اول) خطای خزش منفی بیشتری دارد و بالعکس.

ملاحظات عملی انتخاب نوع استرین گیج:

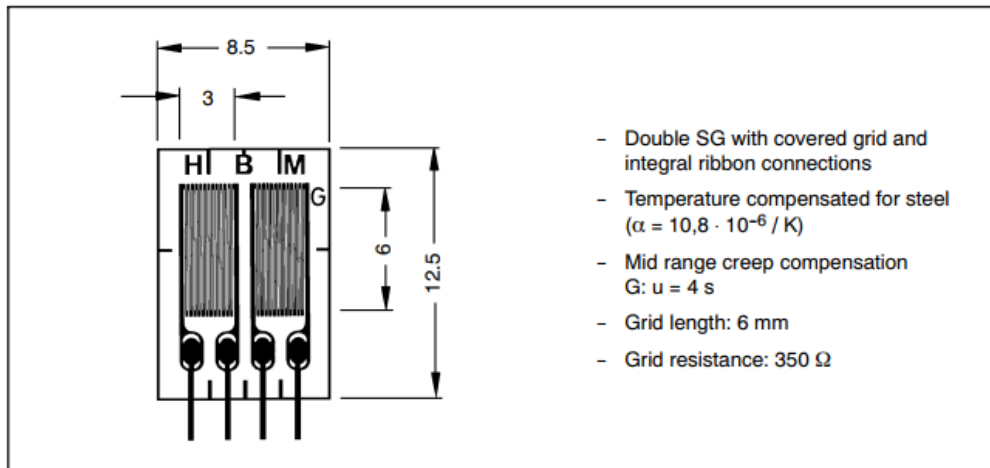
مثال مبدل نشان داده شده در قبل، یک میله خمشی ساده بود. برای اندازه گیری میزان کرنش روی سطح بالایی و پایینی آن توسط تمام پل، نیاز به دو استرین گیج در هر طرف آن می باشد. در اصل تمامی گیج های خطی برای این کار مناسب می باشند. برای این مورد خاص می توانیم از گیج های دابل استفاده کنیم. مزیت این گیج ها این است که با یک مرحله ، دو گیج به صورت هم زمان روی عنصر ارتجاعی نصب می شود، و این عمل به میزان قابل توجهی مدت زمان پروسه نصب گیج ها را کاهش می دهد.

چون در این مبدل فضای نصب کافی برای گیج ها وجود دارد و همچنین کرنش در ناحیه نصب گیج ها کاملاً یکنواخت است، پس استرین گیجی را انتخاب می کنیم که طول گریدهای آن 6 میلی متر است و همچنین سیم های اتصال لحیم شده روی خود دارد.

جنس ماده عنصر ارتجاعی این مبدل، فولاد فنری با ضریب انبساط حرارتی $\alpha = 10.8 \times 10^{-6} / K$ می باشد. برای استفاده از قابلیت اثر خود-جبران سازی دمای استرین گیج، باید گیجی که کد جبران سازی حرارتی آن با مقدار ضریب انبساط حرارتی عنصر ارتجاعی سازگار است، انتخاب شود.

در مثال مبدل ما نیاز چندانی برای بررسی دقیق و حذف خطای خزش وجود ندارد. با در نظر گرفتن موارد فوق گیج زیر از شرکت HBM برای این مبدل انتخاب می شود.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.



شکل 10 : گیج انتخاب شده برای مثال مبدل