

خطای خزش و پسماند در استرین گیج ها

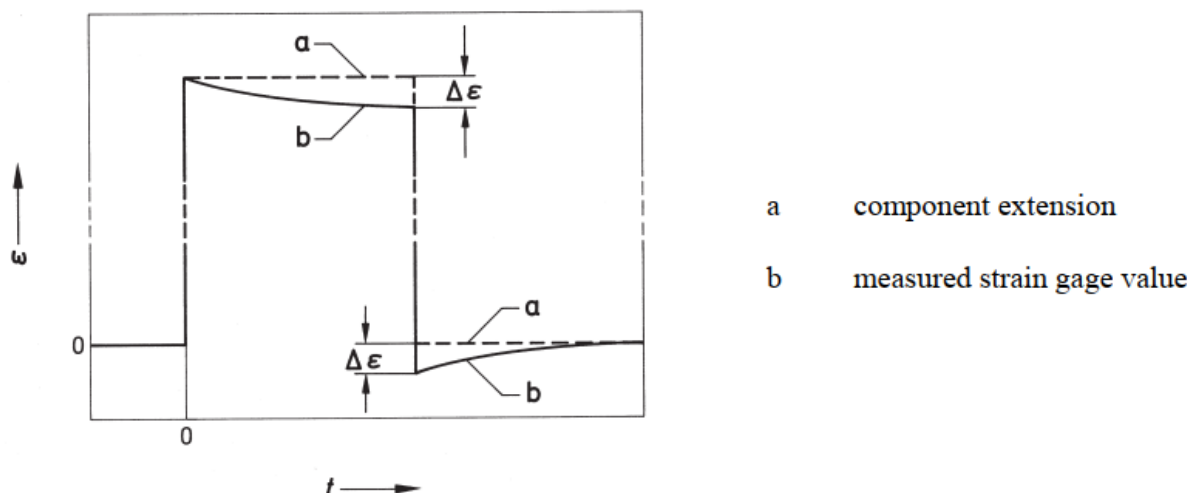
خزش (Creep):

تقریباً در تمام مقالات در مورد استرین گیج ها، خزش به عنوان یک پارامتر مضر نشان داده شده است. 30 سال پیش این قطعا درست بود، اما این برداشت اکنون نیاز به اصلاح دارد. برای اندازه گیری های دقیق، مقدار مشخصی از خزش ضروری است. با روش های مدرن تولید استرین گیج های فویلی، می توان خزش استرین گیج را با ماده ای که گیج روی آن نصب شده است، تطبیق داد. به عنوان مثال، بدون این تکنیک، برآورده کردن نیاز به دقت فوق العاده برای لودسل های مشمول کالیبراسیون رسمی، ممکن نخواهد بود.

و اما منظور از خزش چیست؟

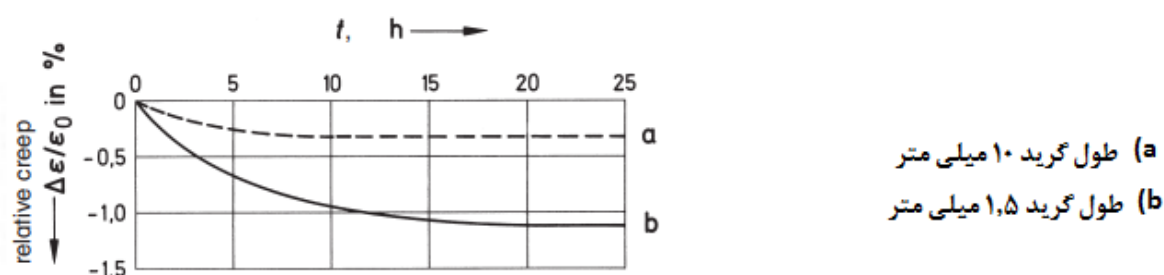
اگر یک استرین گیج در معرض یک کرنش استاتیک باشد، مقاومت آن با گذشت زمان با وجود کرنش ثابت در سطح جسم تحت آزمایش تغییر می کند. این تغییر در سیگنال اندازه گیری یک استرین گیج طویل یا کوتاه، بسیار آهسته اتفاق می افتد. که به این پدیده اصطلاحاً خزش می گوئیم.

دلیل این اتفاق به ویژگی های رئولوژیکی لایه های پیوند و گریدهای اندازه گیری گیج که کرنش را منتقل می کنند، برمی گردد. گریدهای اندازه گیری در گیج شبیه به یک فنر تابیده شده عمل می کنند. این نیروی فنر، تنش های عرضی را مخصوصاً در حلقه های انتهایی گریدهای اندازه گیری، سطح تماس گریدها با ماده حامل، ایجاد می کنند. این تنش های عرضی باعث شل شدن چسب و گیج می شوند یعنی نیروی واکنشی ضعیف می شود، گریدهای اندازه گیری به داخل کشیده می شوند و یک خطای منفی رخ می دهد. این فرآیند در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 1: تغییر در مقدار اندازه گیری شده گنج با زمان، بعد از اعمال بار مکانیکی آنی به جسم تحت تست و همچنین برداشت بار به صورت آنی از روی جسم تحت تست

از آنجایی که این فرآیند در یک ناحیه نسبتاً محدود گریدهای اندازه گیری استرین گنج اتفاق می افتد، بنابراین اثر این پدیده روی گنج هایی با طول بلندتر کمتر از گنج هایی با طول کوتاه تر است. شکل زیر این موضوع را به وضوح نشان می دهد.



شکل 2: مثالی از نمودار خزش برای دو گنج با طول های متفاوت

عوامل زیادی در ایجاد پدیده خزش نقش دارند. این عوامل عبارت اند از سطح مقطع گریدهای اندازه گیری گنج، تعداد گریدهای اندازه گیری، مواد حامل گریدها، نوع چسب و ضخامت آن و همچنین مدت زمان، دما و رطوبت می باشند.

دمای بالا باعث ایجاد خزش بیشتر، و دمای پایین آن را محدود می کند. بنابراین جزئیات ارائه شده در اینجا فقط می تواند روندها را نشان دهد. ارقام نباید به عنوان مقادیر مطلق در نظر گرفته شوند و نباید به سایر استرین گنج ها نسبت داده شوند.

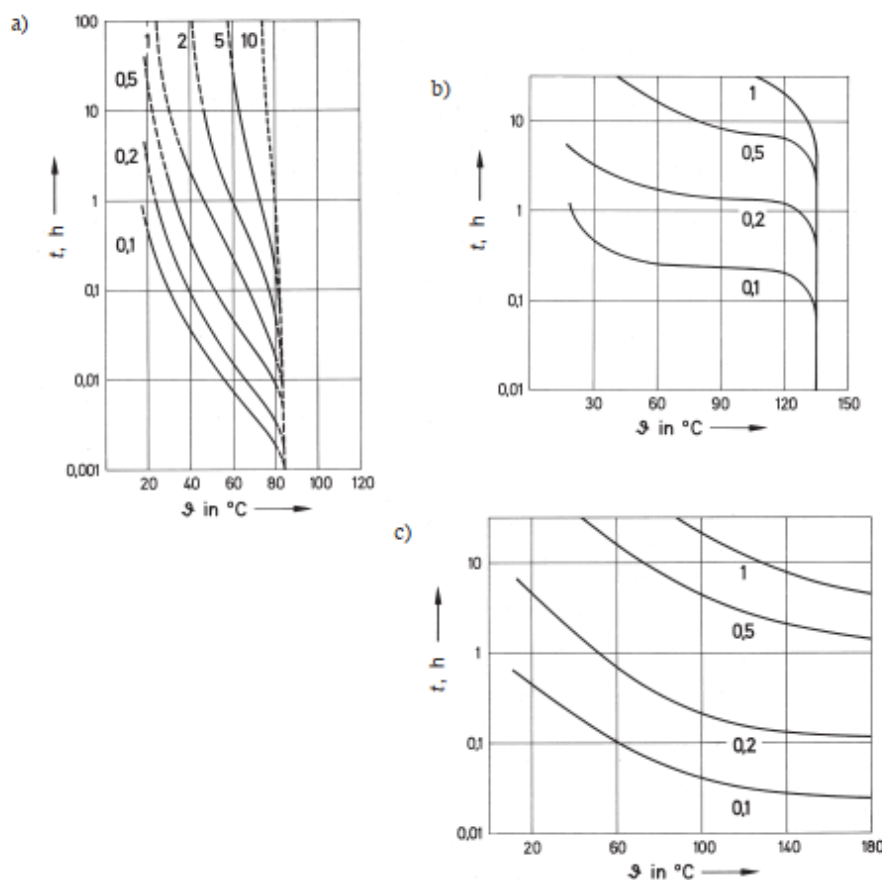
در شکل 3 میزان خزش گنج برای سه حالت مختلف اندازه گیری شده است. در اینجا از گنج LY11 که دارای طول 6 میلی متر و مقاومت 120 اهم می باشد، استفاده شده است. این گنج برای شرکت HBM می باشد. این گنج با استفاده از سه چسب مختلف روی قطعه کار چسبانده

شده و نتایج آن برای خزش ثبت شده است. در اینجا خزش نسبی $\Delta\epsilon/\epsilon_0$ بر حسب زمان t و دما ν رسم شده است. میزان کرنش روی استرین گیج در شروع کار $\epsilon_0 = +2000 \mu m/m$ و سپس $\epsilon_0 = -2000 \mu m/m$ بود.

در واقع نمودارهای TTC (Time/Temperature Creep) فقط برای ترکیبات چسب و استرین گیج قابل تعریف و رسم هستند و هیچ وقت برای خود استرین گیج به تنهایی به کار گرفته نمی شوند.

می توان از شکل 3 مشاهده کرد که چسب سریع $X 60$ برای اندازه گیری در دمای اتاق ترجیح داده می شود. در دمای 50 درجه سانتیگراد و با چرخه بار تا 1 ساعت می توان اندازه گیری خوبی را بدست آورد. در مقابل، چسب سریع $Z 70$ پایداری بهتر قابل توجهی و محدوده دمایی مفیدتری را نشان می دهد. یک ویژگی جالب که در نمودار قابل مشاهده نیست، مزایای $X 60$ در منطقه دمای پایین، از جمله دمای اطراف نقطه انجماد است.

حالا خزش چه اثراتی بر نتایج اندازه گیری دارد؟



شکل 3: نمودار TTC (Time/ Temperature Creep)، خزش نسبی بر حسب $\Delta\epsilon/\epsilon_0$ ، اندازه گیری شده در $\epsilon_0 = 2000 \mu m/m$

چسب :

(a) چسب فوری X60

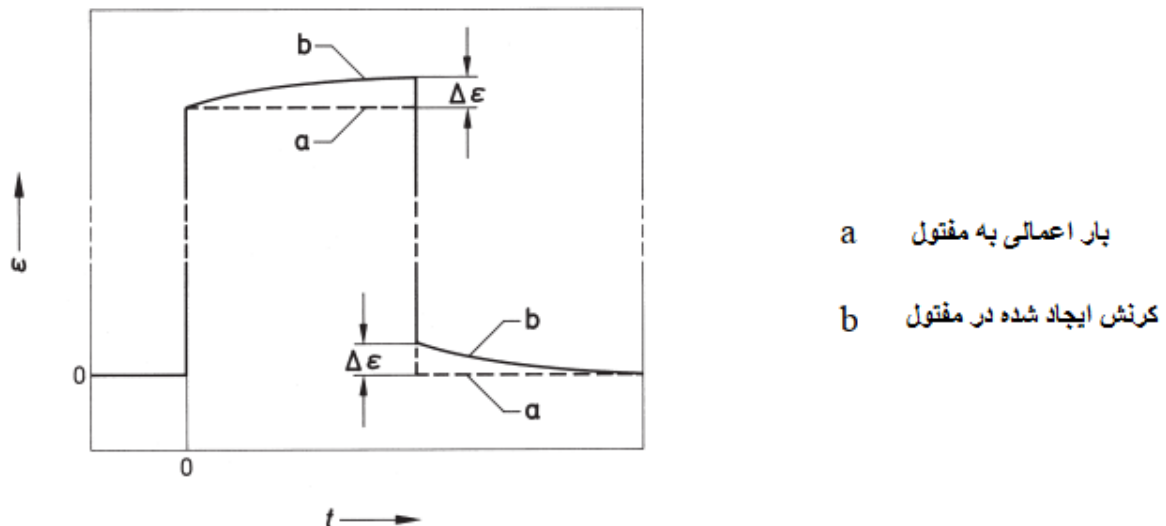
(b) چسب فوری Z70

(c) چسب کوره ای EP250 مدت پخت 2 ساعت در 180 درجه سانتی گراد+2 ساعت در 200 درجه سانتی گراد

قبلا بیان شد که تولید لودسل های با دقت بالا بدون مقدار مشخصی از خزش استرین گیج امکان پذیر نخواهد بود. چرا ؟

این موضوع را می خواهیم با یک مثال ساده مورد بررسی قرار دهیم. فرض کنید از یک مفتول تیر مستطیلی می خواهیم به عنوان عنصر فنری استفاده کنیم. یعنی بار مکانیکی به مفتول مورد نظر اعمال می شود و استرین گیج هم جهت اندازه گیری کرنش ایجاد شده روی مفتول، بر روی آن نصب شده است. بار مکانیکی اعمالی نباید به حدی باشد که باعث شود مفتول مورد نظر وارد ناحیه پلاستیکی خود شود. زیرا در این ناحیه خطاهای برگشت پذیری کرنش به وجود می آید.

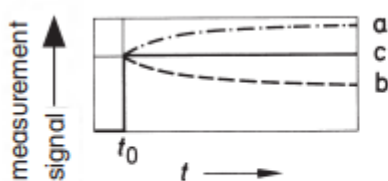
اگر مفتول مورد نظر ما توسط یک نیروی کششی بارگذاری شود، مطابق با قانون هوک اندکی طول محل نصب گیج آن افزایش خواهد یافت. به دلیل پدیده خزش در مواد، این افزایش در طول مفتول، با گذشت زمان به صورت خیلی آهسته ادامه خواهد یافت. و باعث خواهد شد یک افزایش طول اضافی علاوه بر تغییر طول آنی ناشی از نیروی کششی، به آن اضافه شود. حال اگر نیروی کششی یا همان بار مکانیکی اعمالی را از روی مفتول برداریم، خاصیت فنری مفتول باعث خواهد شد که مفتول به اندازه ای که توسط نیروی کششی به صورت آنی تغییر طول داده بود، به همان مقدار به حالت اولیه خود بازگردد. در این حالت یک افزایش طول کوچک پسماند ناشی از پدیده خزش که قبلا در مفتول در طول زمان به وجود آمده بود، می ماند و این افزایش طول کوچک دوباره با گذشت زمان به صورت آهسته مقدار آن کم شده تا مفتول دقیقا به حالت اولیه اصلی خود برگردد. به این اثر Elastic-after effect می گویند. این پدیده در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 4: تغییرات کرنش ایجاد شده در مفتول با زمان با وجود اعمال بار ثابت به آن و همچنین حذف بار از آن و ایجاد پدیده Elastic-after effect

پس Elastic-after effect یک خطای وابسته به زمان با علامت مثبت ایجاد می کند. خزش استرین گیج ها نیز با علامت منفی می باشد. در نتیجه اگر استرین گیجی انتخاب شود که خزش آن دقیقاً به اندازه خزش مفتول، ولی با علامت مخالف باشد، در این صورت این دو خطا کاملاً اثر همدیگر را خنثی خواهند کرد و در خروجی یک سیگنال با دقت بسیار بالا خواهیم داشت. این پدیده در شکل 5 نمایش داده شده است.

در حالی که اصل عمل جبران خزش بسیار ساده است، بسته به دقت اندازه گیری مورد نیاز، انجام آن در عمل دشوار است. تطابق بهینه در شرایط واقعی همیشه باید با آزمایش تعیین شود. اکنون می توان مبدل هایی را ساخت که خطای خزش آنها کمتر از 0.005٪ در محدوده اندازه گیری آنها و در بازه زمانی 30 دقیقه باشد. این بازه زمانی برای بسیاری از برنامه های لودسل کافی است.



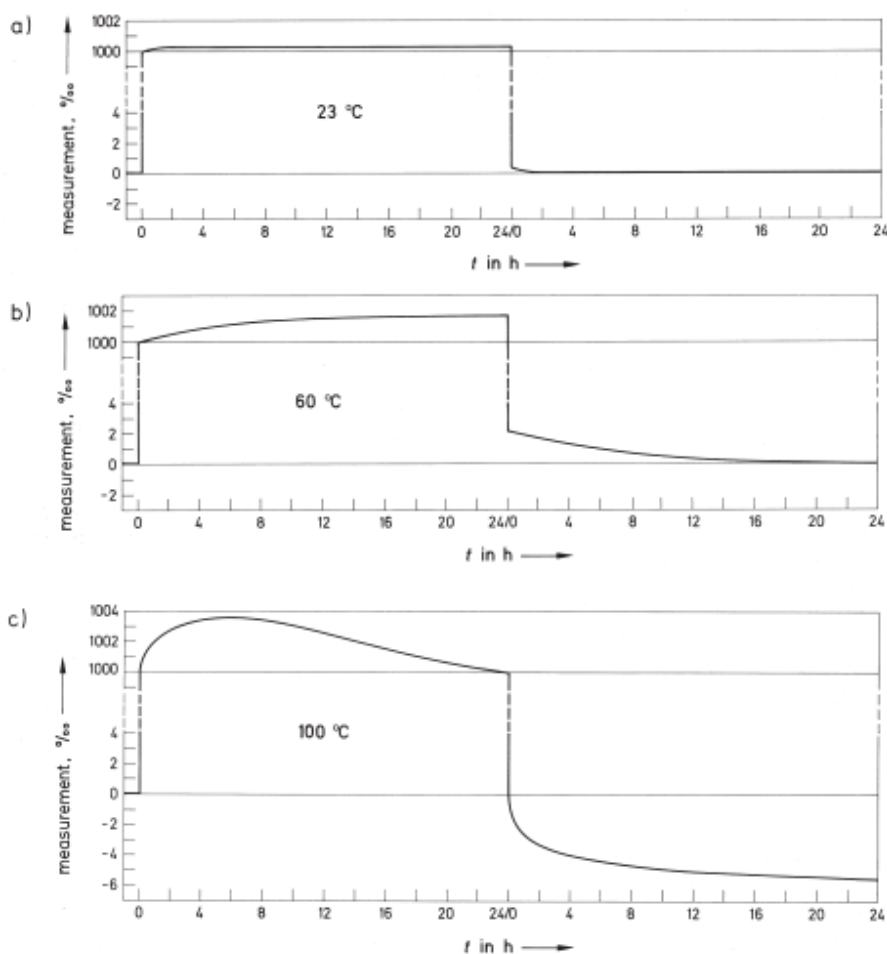
a خزش مفتول در طول زمان

b خزش استرین گیج در طول زمان

c سیگنال خروجی اندازه گیری شده

شکل 5: دیاگرام شماتیکی عمل جبران سازی اثر خزش

تأثیر دما بر خزش در نتیجه تست های آزمایشگاهی در شکل 6 نشان داده شده است. نمونه تحت تست، در دمای اتاق، دمای 60 درجه سانتی گراد و 100 درجه سانتی گراد، هر کدام به مدت 24 ساعت بارگذاری شد و سپس به مدت 24 ساعت رها شد. اندازه گیری ها در این مدت ثبت شدند.



شکل 6: خزش وابسته به زمان و دما یک جسم آزمایشی مجهز به کرنش سنج در طول یک دوره 24 ساعته در دماهای مختلف.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

در دمای اتاق تطابق بهتر از $+0.05\%$ از مقدار مرجع است.

در دمای 60 درجه سانتیگراد خطای مثبت که عمدتاً نشان دهنده اثر Elastic-after effect است، در بازه زمانی 24 ساعته به حدود 0.15% می رسد. پس از برداشت بار، جسم تحت تست دوباره به نقطه صفر اصلی می گردد. البته بعد از گذشت 24 ساعت از زمان برداشت بار.

در دمای 100 درجه، در ابتدا شیب خزش افزایشی بوده و بعد از مدت زمان چند ساعته، شیب آن کاهشی می شود. این شیب معکوس عمل تسلیم غیر قابل بازگشت چسب و استرین گیج را نشان می دهد. میزان بزرگی عمل تسلیم را می توان در مرحله رهاسازی بار اعمالی و بازگشت به صفر کرنش جسم تحت تست مشخص کرد. میزان کرنش پسماند اندازه گیری شده بعد از رهاسازی بار بعد از 24 ساعت، دامنه بزرگی عمل تسلیم گیج و چسب را نشان می دهد.

این مثال نشان می دهد که اثرات مشابه می تواند از تأثیرات مختلف ناشی شود و جبران خزش تنها می تواند در محدوده زمانی/دما/ و در دقت های محدود انجام شود.

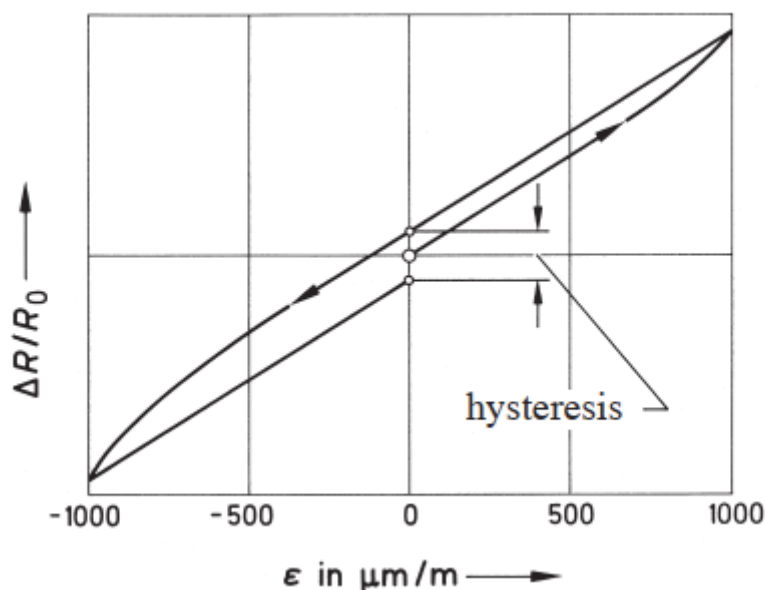
لازم به ذکر است که خزش در کرنش سنج های مدرن فویلی امروزی به قدری ناچیز است که گاهی اوقات مقدار خزش را در گیج ها به طور مصنوعی افزایش می دهند تا اثرات خزش در عنصر فنری را جبران کند.

بنابراین استرین گیج های تولیدی امروزی یک کد خزش هم دارند که مطابق با کاربرد، باید این کد خزش به درستی انتخاب شود.

پسماند مکانیکی (Mechanical hysteresis):

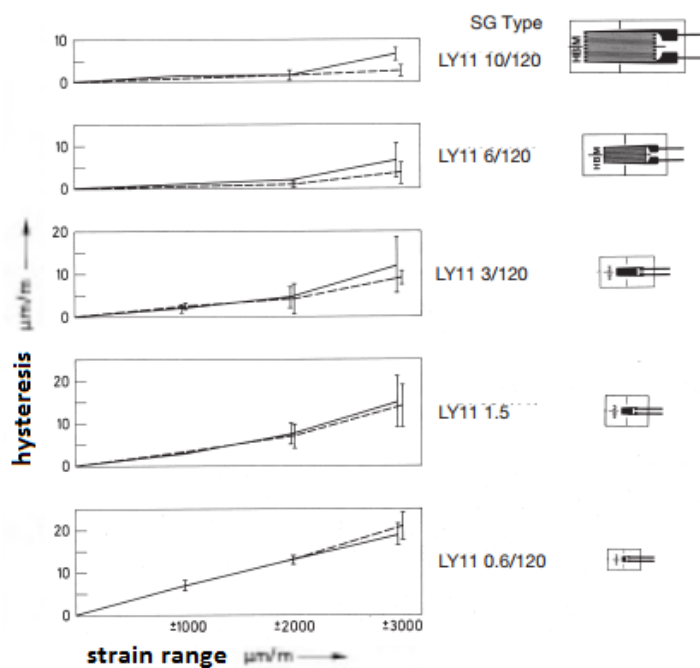
پسماند مکانیکی استرین گیج به اختلاف بین مقادیر کرنش های افزایشی و کاهشی در یک نقطه کرنش مشخص روی سطح جسم تحت تست می گویند. به عبارتی دیگر فرض کنید گیجی روی یک جسم تحت تست نصب شده است. بار مکانیکی مثلاً $1000 \mu m/m$ را به این جسم با یک نرخ معلوم اعمال می کنیم و در نقطه مثلاً $500 \mu m/m$ (در مرحله رفت) مقدار $\Delta R/R_0$ گیج را اندازه گیری می کنیم بعد از اعمال کامل $1000 \mu m/m$ ، دوباره با همان نرخ اعمال بار، شروع به برداشت بار از روی جسم می کنیم و دوباره وقتی به $500 \mu m/m$ رسیدیم (این بار در مرحله برگشت) مقدار $\Delta R/R_0$ گیج را اندازه گیری می کنیم. حالا اختلاف بین $\Delta R/R_0$ در مرحله رفت در نقطه $500 \mu m/m$ با مرحله برگشت در همان نقطه را خطای پسماند گیج می گوئیم.

در اینجا پسماند مکانیکی به عنوان بزرگترین اختلاف در نقطه صفر نمودار رفت و برگشت کرنش در یک چرخه کامل با مقدار $\pm 1000 \mu m/m$ در نظر گرفته خواهد شد.



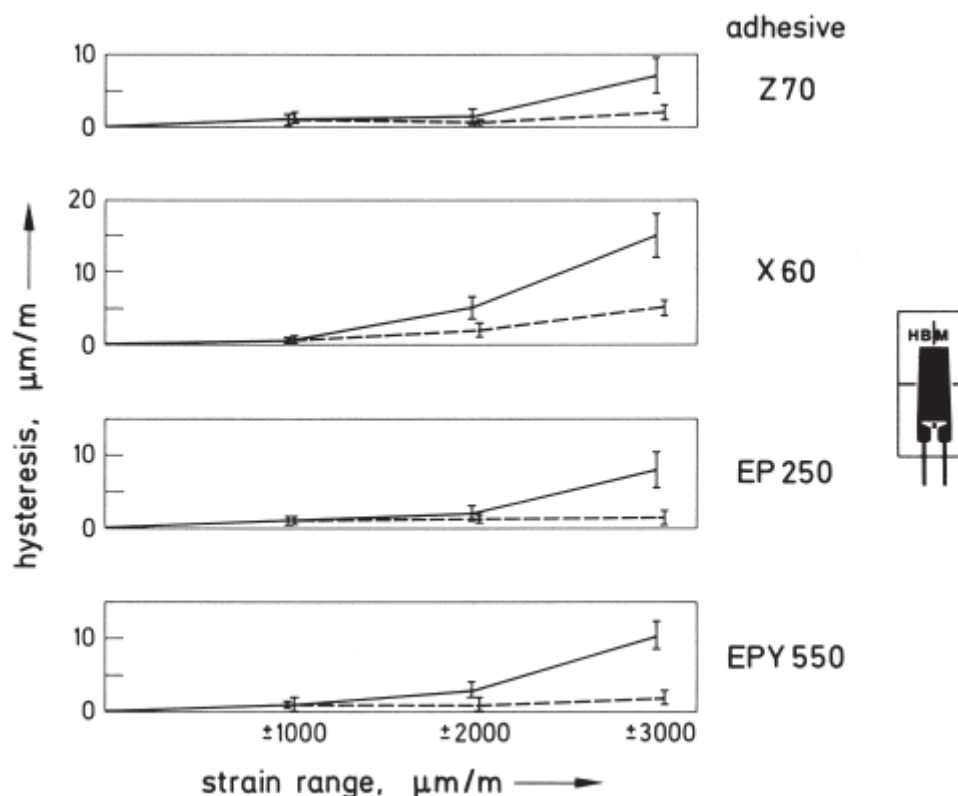
شکل 7: تعریف خطای پسماند

همانند پارامترهای دیگر گج، پسماند مکانیکی فقط به کرنش سنج بستگی ندارد، بلکه به نوع چسب مورد استفاده و سایر قسمت‌هایی که نقطه اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهند نیز بستگی دارد. تجربه نشان داده است که پسماند پس از تعدادی چرخه بار کوچکتر می‌شود. بنابراین جزئیات پسماند در مورد چرخه بار اول و سوم مورد نیاز است. اندازه‌گیری‌های تکمیلی در محدوده کرنش $\pm 2000 \mu m/m$ و $\pm 3000 \mu m/m$ نیز برای پسماند در شکل نشان داده شده است.



شکل 8: پسماند مکانیکی برای 6 نوع استرین گیج مختلف که با چسب Z70 نصب شده/ند

از شکل 8 می توان دریافت که طول استرین گیج در خطای پسماند مکانیکی موثر است و هر چه قدر گیج کوچکتر باشد، خطای پسماند آن نیز کوچکتر است.

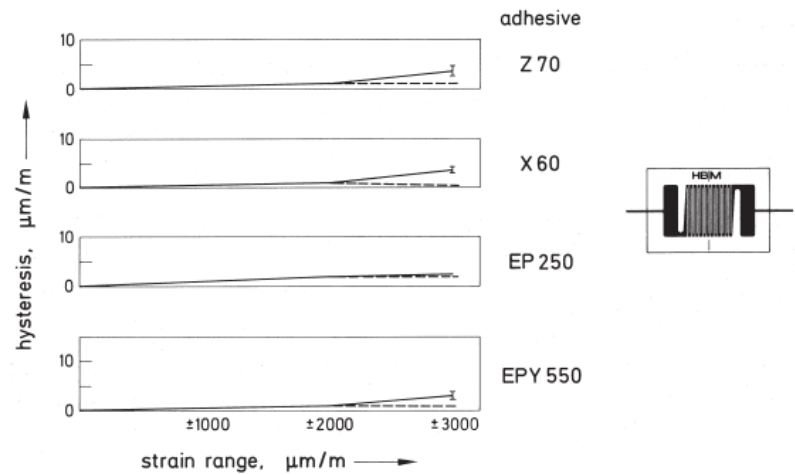


شکل 9: خطای پسماند مکانیکی برای گیج LY11 6/120 که با 4 چسب متفاوت نصب شده است.

در شکل 9 اثر چسب مورد استفاده در خطای پسماند نمایش داده شده است. همانطور که می بینید نقش چسب در خطای پسماند بسیار مهم می باشد.

در شکل زیر همان تست برای یک استرین گیج متفاوت انجام شده است. در واقع آزمایشی که نتایج آن در شکل 10 آورده شده است، با آزمایش قبلی شکل 9 تنها در نوع استرین گیج مورد استفاده تفاوت دارد. کاهش قابل توجه در پسماند، به ویژه در ناحیه کرنش $\pm 3000 \mu m/m$ ، نشان می دهد که طراحی کرنش سنج تأثیر بسزایی در خطای پسماند دارد.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.



شکل 10: خطای پسماند مکانیکی برای گيج LY21 6/120 که با 4 چسب متفاوت نصب شده است.

