



دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

راهنمای آزمایشگاه مقاومت مصالح

تهیه کننده: دکتر محمد زهساز

تدوین و تنظیم: دکتر آرمین رحمت فام

فهرست مطالب

آزمایش ۱ - کشش	۳
آزمایش ۲ - کاربرد استرین گیج ها	۱۳
آزمایش ۳ - تعیین ضریب پواسون	۲۰
آزمایش ۴ - آزمایش سه جهته استرین گیج ها	۲۵
آزمایش ۵ - تمرکز تنش و تغییر طول نسبی	۳۱
آزمایش ۶ - بررسی تنش های خمشی در تیر ها	۳۹
آزمایش ۷- آزمایش پیچش	۴۲
آزمایش ۸ - آزمایش ضربه	۴۵
آزمایش ۹ - آزمایش تیر سرتاسری	۵۱
آزمایش ۱۰ - آزمایش فنر	۵۵

آزمایش شماره ۱

تست کشش

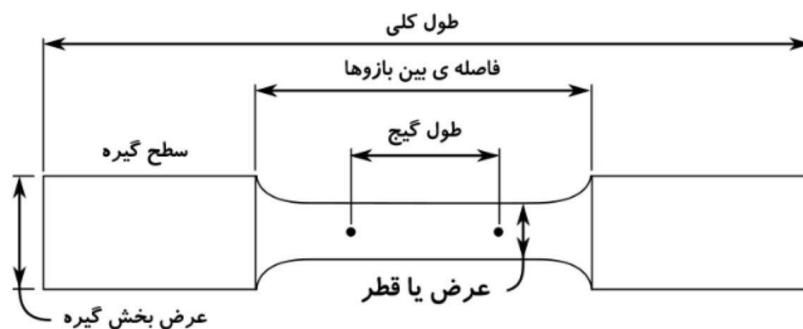
تئوری آزمایش :

مقاومت یک ماده بستگی به قابلیت تغییرناپذیری و دوام آن در مقابل نیروهای وارده دارد. این خاصیت در مصالح، باید به طریق آزمایشهای تجربی تعیین شود. یکی از این آزمایشها که در تعیین خواص مکانیکی مصالح مورد استفاده قرار می گیرد، آزمایش کشش می باشد. برای آنکه نتایج حاصل از آزمایش های مختلف قابل مقایسه باشد، لازمست که این آزمون تحت کدهای استاندارد نظیر ISO, DIN, ASTM, BS و... انجام گیرد.

نمونه های آزمایش با توجه به صورت تخت و یا گرد، مطابق شکل (۱) ساخته می شود و تحت تست کشش قرار می گیرند. خواص مکانیکی متنوعی را می توان از آزمایش کشش به دست آورد که در ذیل به آنها می پردازیم :

- تنش و کرنش (Stress and Strain) :

فرم کلی دیاگرام تنش برحسب کرنش، مطابق شکل (۱) است.

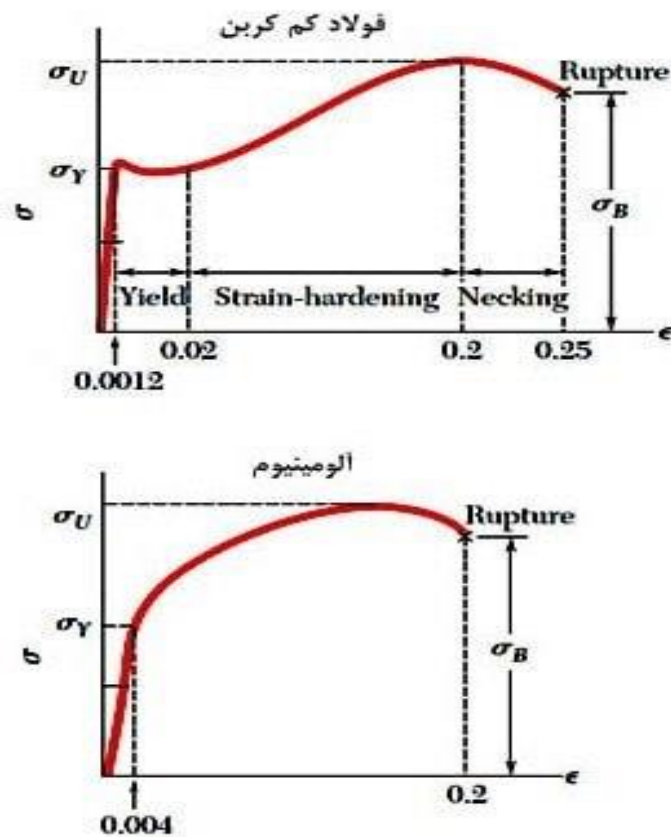


شکل ۱- نمونه آزمایش

در این منحنی، تنش اسمی (نسبت بار به سطح مقطع اولیه) برحسب کرنش اسمی (تغییر طول به طول اولیه) رسم شده است. از آنجائیکه سطح مقطع اولیه و طول اولیه برای تمام نیروهای وارده و تغییر طولها یکسان است، بنابراین منحنی تنش کرنش دارای شیبی متناسب با منحنی بار بر حسب طول می باشد.

- نقطه جاری شدن و یا تسلیم (Yield Point):

در منحنی کشش فولاد نرم (Mild Steel) و یا بعضی از فلزات دیگر، نقطه به خصوصی به نام نقطه جاری بالا وجود دارد بطوریکه بعد آن تنش بطور ناگهانی افت می کند و نمونه در حدود ۰/۱ تا ۰/۲ درصد تغییر طول نسبی، کش می آید و در حین آن تنش به مقدار ثابتی به نام حد جاری پایین می رسد. (شکل ۲)



شکل ۲- منحنی تنش- کرنش فولاد کم کربن و آلومینیوم

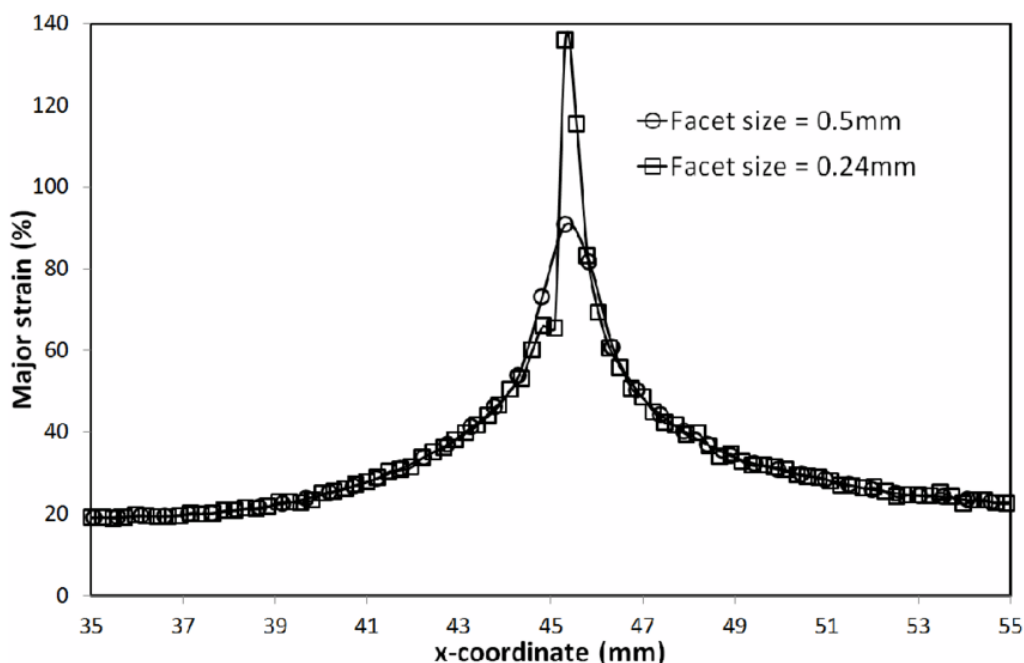
در مقابل، آلومینیوم خالص از این نوع رفتاری تبعیت نمی کند. شکل (۲)، منحنی اسمی تنش و تغییر شکل نسبی را برای آلومینیوم نشان می دهد. در این منحنی، هیچ نقطه جاری شدن مشخصی دیده نمی شود. بیشتر فلزات غیر آهنی (Non-Ferrous)، نظیر مس، برنج، تیتانیوم و نیز اکثر فولادهای آلیاژی (به طور قابل ملاحظه فولادهای ضد زنگ) دارای این نوع منحنی تنش - کرنش می باشند.

- مقاومت کشش نهایی (Ultimate Tensile Strength) :

معمولاً فلزات نرم (داکتیل) وقتی تحت آزمون کشش قرار می گیرند تا زمانی که بار به نقطه ماکزیمم نرسیده، کم و بیش دارای افزایش طول یکنواخت در سرتاسر طول نمونه می باشند. بنابراین، مقاومت کشش نهایی را نسبت بار ماکزیمم به سطح مقطع اولیه تعریف می کنند. ضمناً بطور معادل، اصطلاحاتی مثل مقاومت کششی (Tensile Strength) و مقاومت نهایی (Ultimate Strength) و یا ماکزیمم تنش (Maximum Strength) به این مفهوم دلالت می کند.

- باریک شدن یا گلوپی دادن (Necking) :

پس از آنکه نیروی کششی از بار ماکزیمم گذشت، یک ناپایداری کشش پلاستیکی به فرم باریک شدن موضعی مطابق شکل (۳) در نمونه پدید می آید.



شکل ۳ - توزیع کرنش در طول نمونه

تنش و کرنش در قسمت باریک شده از سایر نقاط بیشتر است. بنابراین، افزایش طول محدود به این تکه باریک شده نمونه می گردد. شکل (۳)، مقایسه کرنش چند نوع مصالح نسبت به هم و نسبت به طول نمونه را نشان می دهد. بایستی همواره این موضوع در بررسی نتایج آزمایش کشش را به خاطر داشت که بعد از نقطه بار ماکزیمم، مقادیر تنش و کرنش چندان مفهومی ندارند؛ چون بر مبنای ازدیاد طولی است که دیگر در سراسر طول نمونه یکنواخت نمی باشد و به همین دلیل مقدار تنش ها نیز مفهوم خود را از دست می دهند و تطابق کمتری با تنشهای حقیقی در قسمت باریک شده نمونه دارند. (تنش یکنواخت نبوده و حالت پیچیده ای دارد)

اگرچه تنش اسمی در لحظه گسیختگی مقدارش کمتر از مقاومت نهایی است ولی مقدار حقیقی آن خیلی زیادتر است؛ چون مقطع نمونه در لحظه گسیختگی در بخش باریک شده بسیار کمتر از سطح مقطع اولیه نمونه است.

- حد الاستیک (Elastic Limit) :

حد الاستیک هر جسمی، آن تنش ماکزیممی است که تا آن حد اگر تنش اعمال شده حذف شود، اثری از تغییر طول در جسم باقی نماند و یا تغییر شکل دائمی خیلی جزئی پس از برداشته شدن بار در جسم پدید آید.

- حد خطی (Proportional Limit) :

حد خطی، آن تنشی است که بالاتر از آن متناسب بودن افزایش طول و بار اعمالی از بین می رود. حد الاستیک و حد خطی خیلی به هم نزدیک بوده و در عمل گاهی آن دو را یکسان در نظر می گیرند.

- ازدیاد طول (Elongation) :

ازدیاد طول عبارتست از نسبت افزایش طول گیج (طول علامت زده شده) در حالت گسیخته شدن به طول اولیه. این نسبت غالباً به شکل درصد بیان می شود. یعنی :

$$\text{درصد ازدیاد طول} = \frac{\text{طول اولیه} - \text{طول در لحظه گسیخته شدن}}{\text{طول اولیه}} \times 100$$

باید به خاطر داشت که درصد افزایش طول به طور قابل ملاحظه ای برای مواد نرم با طول گیج انتخابی تغییر می کند. این به علت باریک شدن موضعی می باشد و به همین دلیل است که آزمایش کشش بایستی با طول گیج استاندارد انجام پذیرد. طول گیج شاخص برای نمونه ای با سطح مقطع اولیه A_0 برابر است با :

$$L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$$

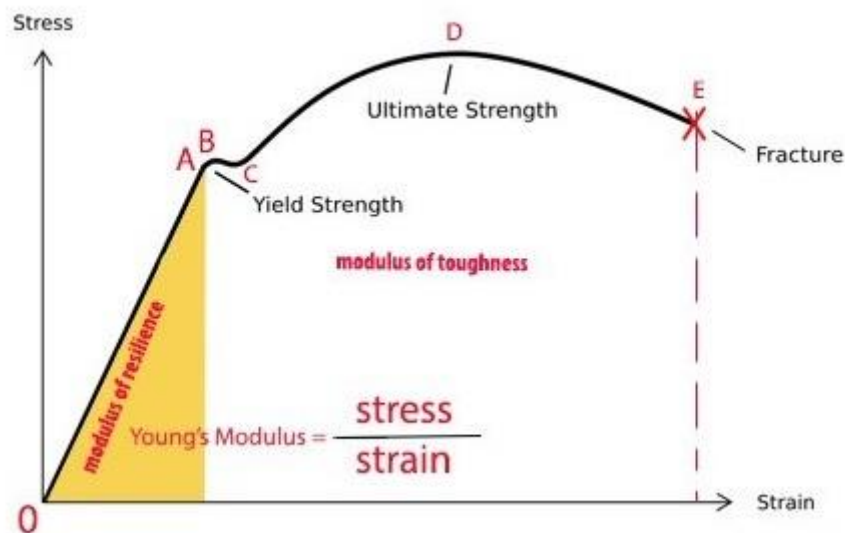
- کاهش سطح مقطع (Reduction in Area) :

سطح مقطع نمونه در نتیجه عمل باریک شدن، در محل گسیختگی به شدت کاهش می یابد. درصد کاهش سطح مقطع به صورت زیر و برحسب درصدی از مقطع اولیه بیان می شود :

$$\text{درصد کاهش سطح} = \frac{\text{سطح مقطع در لحظه گسیخته شدن} - \text{سطح مقطع اولیه}}{\text{سطح مقطع اولیه}} \times 100$$

- مدول الاستیسیته (Young's Module) :

مدول یانگ، یکی از مهمترین خواص مکانیکی مصالح می باشد و عبارت است از نسبت تنش به کرنش در محدوده خطی (ناحیه الاستیک). این ضریب معمولاً با حرف E مشخص می شود و به آن مدول الاستیسیته نیز می گویند. مدول یانگ در سیستم SI برحسب Pa بیان می شود اما از آنجا که اغلب مواد دارای مقادیر نسبتاً بزرگی هستند، این ضریب برحسب GPa (و یا MPa) ذکر می شود. در سیستم انگلیسی نیز واحد آن $(lb\,f/in^2)$ است.



شکل ۴- مدول یانگ در دیاگرام تنش - کرنش

- تنش معادل حد جاری (Proof Stress) :

در منحنی آزمایش کشش بعضی اجسام مانند آلومینیوم (شکل ۲)، نقطه تسلیم مشخصی مطابق تعریفی که ارائه شد، مشاهده نمی شود. در این موارد از یک تنش معادل برای جاری شدن استفاده می کنند و فرض می کنند که در این تنش، یک مقدار مشخصی از کرنش دائمی در جسم باقی می ماند. در شکل (۲)، روش بدست آوردن ۰/۲ درصد تنش معادل حد جاری نشان داده شده است. (به موازات خط ناحیه الاستیک و با کرنش ۰/۰۰۲، خطی رسم می کنیم. تنش متناظر با محل قطع شدن نمودار، تنش معادل حد جاری است)

معمولاً تنش معادل حد جاری را در حدود ۰/۱ الی ۰/۵ درصد، بسته به جنس مصالح و کاربردهای انتخاب می کنند. این اصطلاح، از این حقیقت ناشی شده است که برای مثال ۰/۱٪ آن تنش قابل قبولی است که کرنش دائمی هنگام حذف بار، از ۰/۰۰۱ تجاوز نکند.

- تنش و کرنش حقیقی (True Stress and True Strain) :

خواص قراردادی کشش که تشریح گردید، کاملاً خواص فیزیکی اجسام را بیان نمی کنند. اطلاعات دقیق را می توان از منحنی تنش کرنش حقیقی اجسام بدست آورد. برای تعریف کمیت های حقیقی، بهتر است که بحث ما در رفتار کششی نمونه تا نقطه گلویی باشد؛ چرا که تا این نقطه ازدیاد طول در سراسر نمونه یکنواخت است. لذا اگر P بار محوری کششی لحظه ای و A سطح مقطع لحظه ای نمونه باشد، تنش حقیقی به صورت زیر بیان می شود :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

معمولاً تغییر شکل نسبی مهندسی در ناحیه الاستیک کمتر از 0.001 صادق است و لذا برای تغییر طول های نسبی خیلی بزرگ، کرنش اسمی (کرنش مهندسی) مفهوم اساسی ندارد. برای مثال، اگر یک کرنش نسبی بزرگ را بررسی کنیم، بایستی یک کش آمدن صد درصدی، برابر و خلاف جهت یک فشردن پنجاه درصدی باشد در حالیکه در اولی کرنش اسمی برابر 1 و در دومی برابر 0.5 - است. واضح است که این دو تغییر شکل با هم برابر نیستند. پس برای بررسی این موضوع، باید کرنش حقیقی نیز تعریف گردد.

کرنش حقیقی را برای حالت ساده یک بعدی تک محوره می توان چنین تعریف کرد :

$$\varepsilon = \int d\varepsilon = \int_{L_0}^L dL/L = \ln \frac{L}{L_0}$$

بررسی مثال بالا با تعریف گفته شده چنین نتیجه می دهد :

$$\varepsilon = \ln 2 \quad \text{برای یک کش آمدن } 100\% :$$

$$\varepsilon = \ln 0.5 = -\ln 2 \quad \text{برای فشردن } 50\% :$$

که این دو کرنش مساوی و در جهت مخالف هستند و با واقعیت مسئله کاملاً مطابقت دارند.

کرنش مهندسی را می توان چنین نوشت :

$$\varepsilon_0 = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1$$

با اعمال تعریف کرنش حقیقی، نتیجه می شود :

$$\varepsilon = \ln (1 + \varepsilon_0)$$

اگر فرض شود که حجم مصالح در مدت تغییرشکل ثابت باقی می ماند که این فرض در عمل نیز صحیح است، می توان چنین نوشت :

$$V = AL = A_0 L_0$$

و از آنجا نتیجه می شود :

$$\sigma = \sigma_0 (1 + \varepsilon_0)$$

- معادله تنش و کرنش حقیقی

معادله تنش کرنش حقیقی (Constitutive Equation) که تقریباً رفتار خیلی از فلزات از آن تبعیت می کند، چنین نوشته می شود :

$$\sigma = c \varepsilon_0^n$$

که در آن n, c ثابت های تجربی معادله هستند.

شرح عملی آزمایش :

برای شروع آزمایش ابتدا باید قطعه کار را آماده کرد. برای این کار از فلز مورد نظر (که جنس آن طبق استاندارد از فولاد است) به طول مشخصی بریده و نمونه را به گیره ثابت می بندیم و هر ۲ سانتی متر یکبار ، آن را با اره نشانه گذاری می کنیم. سپس قطعه را بین دو فک ثابت و متحرک دستگاه تست کشش قرار می دهیم. در محل قرار گیری کاغذ نمودار (نیرو برحسب تغییر طول)، کاغذ مورد نظر را گذاشته و مداد دستگاه را روی صفر نمودار تنظیم می نمائیم.

دستگاه تست کشش را روشن کرده و سرعت آزمایش را بر روی $2/5 \text{ mm/min}$ ، تنظیم می کنیم. این دستگاه هیدرولیکی است ؛ با باز کردن شیر سمت راست ، نیروی اعمالی بر روی نمونه را روی صفر تنظیم می کنیم. با باز کردن بیشتر شیر مذکور ، فک متحرک دستگاه شروع به حرکت به سمت بالا کرده و از فک ثابت رفته رفته دور می شود. با این کار ، قطعه کار توسط فک متحرک کشیده می شود. با افزایش فاصله ی فک ها از یکدیگر مشاهده می شود که نیروی وارده بر نمونه نیز افزایش می یابد. این افزایش نیرو تا حد نهایی قطعه ی نمونه ادامه می یابد. پس از رد شدن از این نقطه ، نیروی وارده کاهش می یابد.

کشش را تا زمانی که قطعه بشکند ادامه داده و به محض شکست قطعه بلافاصله دستگاه را خاموش می کنیم. سپس دو تکه قطعه کار را برداشته و کنار هم قرار می دهیم. فاصله خطوط نشانه گذاری شده قبل را توسط متر اندازه گیری کرده و تغییر طول هر تکه را یادداشت می کنیم.

* عوامل ایجاد خطا :

- ✓ سر خوردن قطعه نمونه بین فک های ثابت و متحرک
- ✓ وجود کرنش های محلی در محل قرار گرفته درون فک های ثابت و متحرک
- ✓ خطای محاسباتی (خطای گرد کردن اعداد)
- ✓ خطا در اندازه گذاری روی نمونه
- ✓ خطا در قرائت طول و نیرو
- ✓ لازم به ذکر است که بایستی کرنش در قسمت هایی که درون فک های ثابت و متحرک دستگاه قرار می گیرند ، طبق استاندارد ، برابر صفر باشد، اما به دلیل وجود کرنش در قسمت های مذکور در این آزمایش، این امر موجب بروز خطا در آزمایش می شود.

* سوالات آزمایش :

نمونه های موردنظر را به وسیله یکی از دستگاه های کشش، تحت آزمایش قرار داده و نتایج را مطابق جدول تنظیم نمایید و کمیت های داده شده به همراه دیاگرام تنش کرنش مهندسی و حقیقی را از نتایج آزمایش بدست آورید.

	Load P	$\Delta L = L - L_0$	$\epsilon_o = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$	$\sigma_o = \frac{P}{A_0}$	$\epsilon = Ln(1 + \epsilon_o)$	$\sigma = \sigma_o(1 + \epsilon)$	$Ln \epsilon$	$Ln \sigma$
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								
۸								
۹								
۱۰								

***توضیحات تکمیلی :**

✓ مواد ترد (Brittle) ، نظیر چدن خاکستری دارای تسلیم شدگی بسیار کم و یا بدون تسلیم شدگی هستند و بنابراین به طور ناگهانی می شکنند (گلویی تشکیل نمی شود). این مواد تا قبل از مرحله شکست، تغییر شکل قابل ملاحظه ای نمی دهند.

✓ دما، در نتیجه آزمون کشش تأثیر دارد.

✓ هرچه درصد افزایش طول (و یا درصد کاهش سطح مقطع) بیشتر باشد، اصطلاحاً ماده نرم تر است.

✓ نقطه گسیختگی نهایی که در آن قطعه می شکند ، اصطلاحاً Rupture Point نامیده می شود.

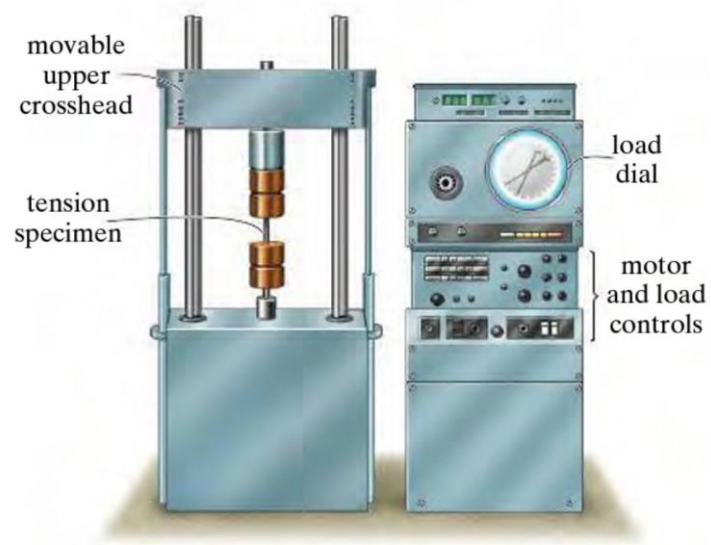
✓ در اثر تغییر شکل، داخل قطعه انرژی کرنشی ذخیره می شود. به عبارتی کار انجام یافته روی قطعه به شکل انرژی پتانسیل در قطعه ذخیره می شود. این انرژی در واحد حجم، چگالی انرژی کرنشی نامیده می شود. اگر این انرژی تا نقطه حدخطی محاسبه شود، مدول برجهندگی نامیده می شود و اگر تا نقطه شکست اندازه گیری شود، مدول چقرمگی خوانده می شود. مقدار مدول چقرمگی را می توان از سطح زیر نمودار تنش کرنش تعیین کرد.

✓ تسلیم شدن، تنها معیار برای شکست نیست. شکست می تواند ناشی از پدیده ای به نام خستگی (Fatigue) باشد. در این پدیده ، ماده تحت تنشی کمتر از حد تسلیم دچار شکست می شود که علت آن بارگذاری مکرر است.

✓ خستگی می تواند به دو صورت اتفاق بیفتد :

- ماهیت تنش ها نوسانی باشد. یعنی تنش متغیر است.
- میزان تنش ثابت باشد اما به طور مکرر بارگذاری شود که در نتیجه آن ممکن است المانی که تحت فشار است، مدتی بعد تحت کشش قرار بگیرد و این سیکل به طور متناوب تکرار شود.

✓ در حالت خستگی، معیار دیگری برای عدم شکست معرفی می شود که حد دوام S_e نامیده می شود و در درس طراحی اجزا ۱ مورد بحث قرار می گیرد.



شکل ۵: شماتیک کلی دستگاه تست کشش

آزمایش شماره ۲

کاربرد استرین گیج ها - محاسبه مدول الاستیته (E)

تئوری آزمایش:

مقدمه: در آنالیز سیستم تنش های پیچیده، محاسبه تنش ها در جهت های بخصوصی کار مشکلی است. بنابراین، در عمل از استرین گیج یا کرنش سنج که مستقیماً کرنش را در جهت مورد نظر می دهد، استفاده می کنند و از رابطه $\sigma = E\epsilon$ تنش را بدست می آورند. به طور کلی، اساس کار استرین گیج ها بر مبنای تغییر مقاومت الکتریکی در اثر تغییر طول آن می باشد. یعنی رابطه مقاومت الکتریکی یک هادی با طول آن به صورت $R = \rho \frac{L}{A}$ بوده که اگر A و L تغییر کنند، مقاومت الکتریکی تغییر خواهد کرد.

اصولاً سیم های مقاومتی سیم هایی هستند به قطر ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ میلیمتر که به صورت زیگزاگ به یک نوار کاغذی چسبیده شده و انتهای این سیم های نازک به سیم های کلفت سربی جوش داده و یا لحیم می شود. استرین گیج به سطح نمونه مورد آزمایش با استفاده از چسب های مخصوص چسبانده می شود، بطوریکه که طول استرین گیج منطبق با جهت اندازه گیری کرنش می باشد. سیم استرین گیج همراه با سطح قطعه مورد آزمایش تغییر طول یافته و مقاومت اهمی آن تغییر می کند و این تغییرات را بر کرنش قطعه مطابقت می دهند.

روابط حاکم بر استرین گیج ها:

آزمایش نشان می دهد که تغییرات واحد در مقاومت اهمی یک سیم، $\frac{\Delta R}{R}$ ، بستگی به تغییر طول نسبی آن سیم دارد؛ یعنی:

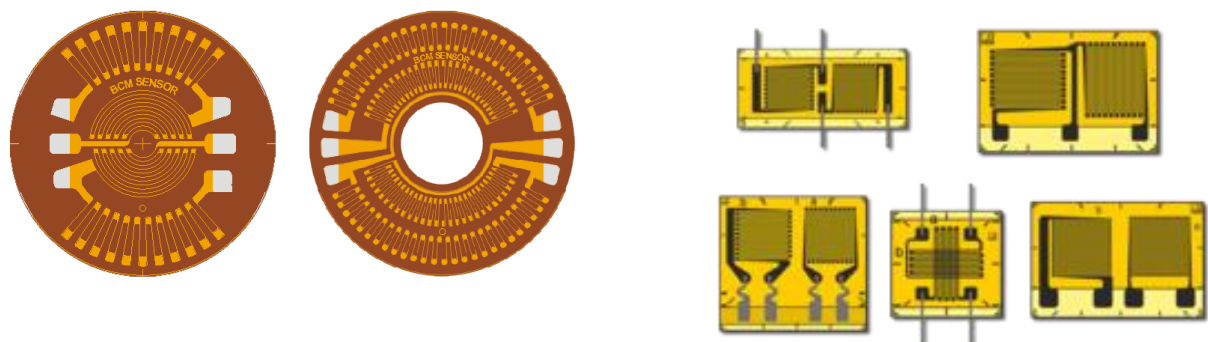
$$\frac{\Delta R}{R} = \gamma \frac{\Delta L}{L}$$

که در آن، γ را گیج فاکتور (GUAGE FACTOR=G.F) می نامند که یک کمیت بدون بعد بوده و بستگی به خواص فیزیکی سیم گیج دارد. البته باید دانست به علت حلقه های کناری سیم استرین گیج، مقاومت آن نه فقط حساس به تغییرات در جهت طولی می باشد، بلکه در جهت عرضی نیز تغییراتی به وجود می آید.

$$\frac{\Delta R}{R} = \gamma_0 \epsilon_x + \delta \epsilon_y$$

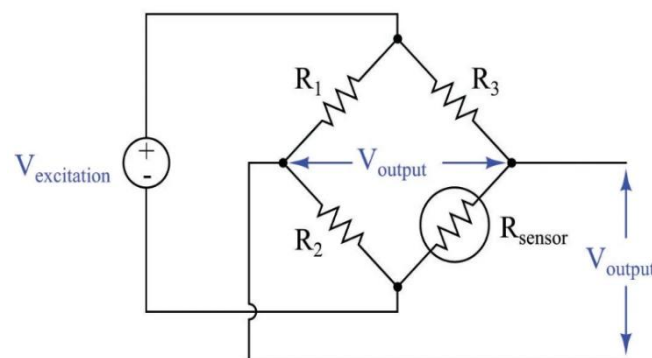
که در آن، ϵ_x و ϵ_y استرین های در جهت های x و y می باشند و γ و δ به ترتیب ضریب حساسیت طولی و عرضی استرین گیج ها بوده که به وسیله عمل متعادل کردن (CALIBRATION) به دست می آید. به علت حلقه های انتهایی، مقدار γ بعضی مواقع کمتر از حساسیت استرین سیم γ_0 می باشد. به ازای یک مقدار ازدیاد در طول استرین گیج، اختلاف بین γ_0 و γ کاهش یافته و برای استرین گیج های معمولی که به طول $L=20\text{ mm}$ می باشند، فاکتور δ کمیت کوچکی می باشد، برای استرین گیج های با طول کوتاه، $L<5\text{ mm}$ مقدار δ در مقایسه با γ و فاکتور حساسیت استرین، بایستی در محاسبه تنش ها به حساب آورده شود.

در روش های جدید آزمایشی استرین گیج های مقاومتی نه فقط برای اندازه گیری کرنش به کار می روند، در بعضی از وسائل اندازه گیری نیز آن ها به عنوان المان های حساس برای اندازه گیری تغییرات نیرو نیز بکار می روند. برای اندازه گیری نیرو ها، استرین گیج های مقاومتی به یک المان الاستیک (از قبیل میله، محور تیر) می چسبانند که تغییرات در مقاومت استرین گیج ها در نتیجه تغییرات در ولتاژ اندازه نیروی وارده را نشان می دهد. شکل زیر چند نمونه از استرین گیج های مختلف برای اندازه گیری کرنش را نشان می دهد.



شکل ۱- چند نمونه از استرین گیج ها

برای آزمایش های استاتیکی، یک استرین گیج به سطح المان مورد آزمایش می چسبانند و در مدار پل وتستون (BRIDGE CIRCUIT) قرار می دهند. مطابق شکل زیر:



شکل ۲- مدار پل وتستون

و تغییرات را از گالوانومتر می خوانند. یکی از مقاومت های پل وتستون مانند R_1 مقاومت استرین گیج می باشد. بقیه مقاومت ها طوری انتخاب می شوند که مدار حالت تعادل داشته باشد و جریان در گالوانومتر (I_G) قبل از تغییر استرین برابر صفر باشد. بنابراین، رابطه مقاومت ها در این پل وتستون به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (1)$$

معمولا برای راحتی مقاومت ها را چنین انتخاب می کنند که:

$$R_1 = R_4 = R_G$$

$$R_2 = R_3 = R$$

با برقراری معادلات کریشف (KIRCHHOFF's law) برای مدار فوق بسادگی می توان دید که در حالت پل غیر متعادل، جریان در گالوانومتر برابر است با:

$$I_g = E \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_2 R_3 R_4 + R_1 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_2 R_3} \quad (2)$$

معمولا مقاومت های داخلی دستگاه تولید قدرت (باطری و غیره) و گالوانومتر خیلی کمتر از مقاومت های R_1 ، R_2 ، R_3 و R_4 می باشند. وقتی که استرین گیج کار می کند، مقاومت R_1 به اندازه ΔR تغییر کرده و در این صورت:

$$R_1 = R_G + \Delta R_G$$

$$R_2 = R_3 = R$$

$$R_4 = R_G$$

بنابراین، جریان در گالوانومتر به صورت زیر در می آید:

$$I_g = \frac{E}{2(R + R_G)} \frac{\Delta R_G}{R_G} \quad (3)$$

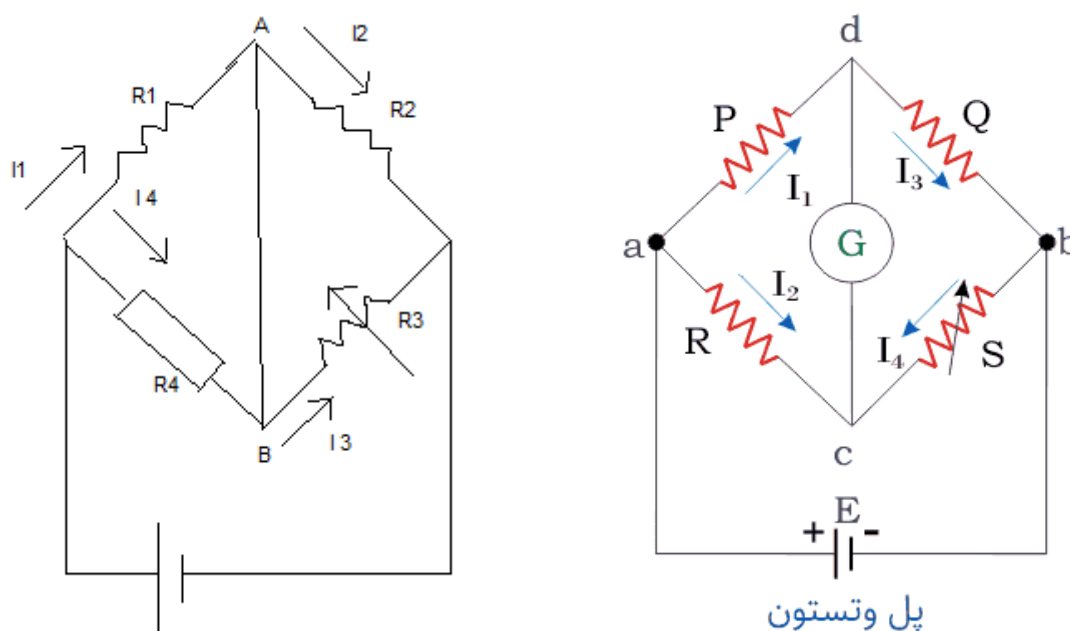
ملاحظه می کنید که جریان در گالوانومتر بستگی به تغییر در مقاومت استرین گیج دارد. بدین طریق می توان کرنش را اندازه گرفت.

عیب اصلی استرین گیج های مقاومتی حساسیت حرارتی آن هاست. وقتی که درجه حرارت تغییر می کند، مقاومت استرین گیج ها به طور قابل ملاحظه تغییر خواهد کرد. برای جبران کردن تاثیر درجه حرارت استرین گیج، R_4 را بدون اتصال به R_1 و با استفاده از یک عایق حرارت مانند یک نوار نمدی روی آن قرار می دهند.

بنابراین، دمای استرین گیج و نیز تغییرات دما در مقاومت های R_1 و R_4 یکسان خواهد بود و چون معادله (۱) همچنان برقرار می ماند، از این رو تعادل پل بهم نخواهد خورد.

برای بررسی حالت تنش های ایجاد شده در یک قطعه پیچیده، از استرین گیج های زیادی استفاده می شود، بدین نحو که برای هر قطعه مورد بررسی، مقاومت های R_2 و R_3 و نیز گالوانومتر را ثابت نگه داشته و جفت مقاومت R_1 و R_4 (استرین گیج ها) را متوالیا تغییر می دهند و مقادیر مربوطه را اندازه می گیرند. برای جلوگیری از خطای ناشی از تغییرات ولتاژ تغذیه، قبل از هر آزمایش بوسیله مقاومت متغیر R مستقیما پل را متعادل می کنند.

مطابق شکل زیر:



شکل ۳ - مدار های پل وتستون

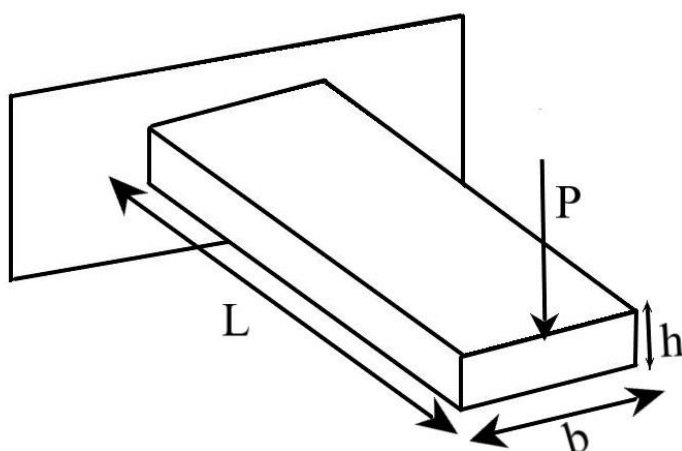
واضح است که روش گفته شده فقط در مورد سیستم های استاتیکی قابل استفاده است. برای اندازه گیری سیستم های دینامیکی، وسایل اندازه گیری مخصوص بکار می رود. در این مواقع، برای ثبت استرین از اسلو گراف ها، OSCILLO GRAPHS، و یک آمپلی فایر AMPLIFIER (تقویت کننده) که بمدار وصل می شود، استفاده می کنند.

روش آزمایش:

مدار الکتریکی استرین گیج را مطابق دستور العمل وصل کنید و با توجه به $G.F$ استرین گیج، $G.F$ گالوانومتر را تنظیم کنید و مدار را برای حالت بدون بار متعادل کنید. سپس مطابق جدول، نمونه را بارگذاری کرده و تغییرات استرین را یادداشت کنید.

نتیجه گیری:

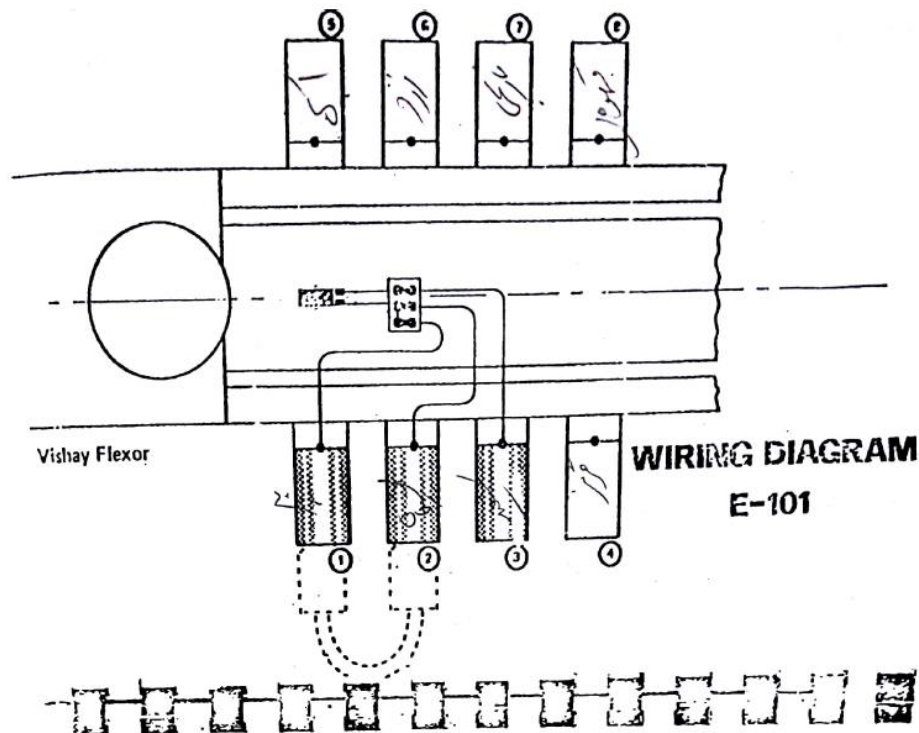
منحنی تغییرات تنش σ را بر حسب کرنش ϵ رسم کرده و از شیب منحنی، مدول الاستسیته را بدست آورید.



$$\sigma = \frac{6PL}{bh^2} \text{ (psi)} \quad \sigma \text{ تنش}$$

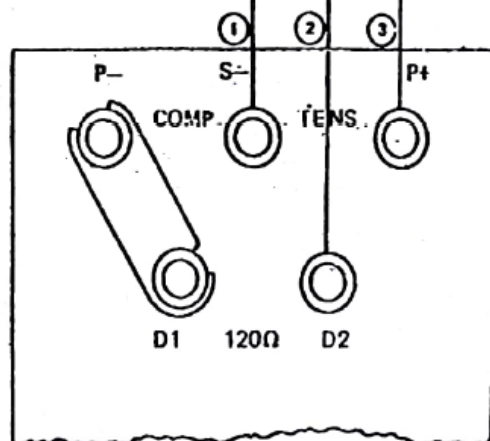
L= b= h=

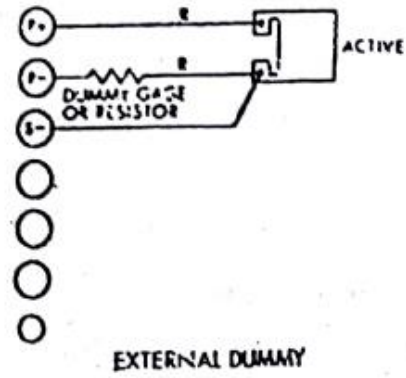
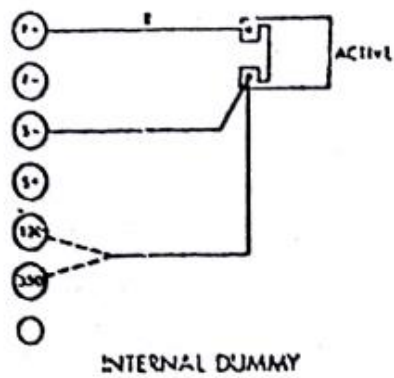
P (lb)	افزایش کرنش ($\mu\epsilon$)	کاهش کرنش ($\mu\epsilon$)	کرنش متوسط ($\mu\epsilon$)	σ
0.5				
1				
1.5				
2				
2.5				
3				
3.5				



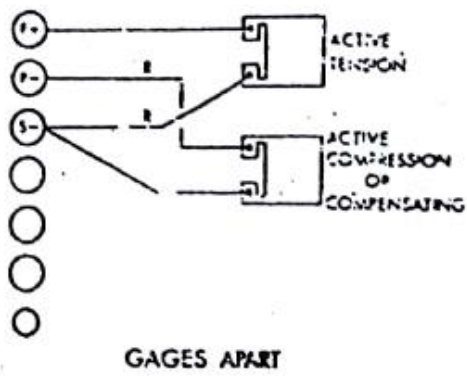
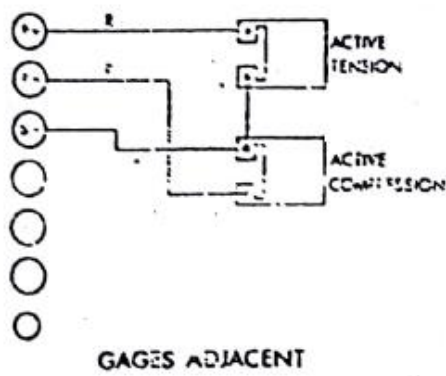
NOTE: A Three-Wire circuit is shown beginning at the terminal strip on the beam where the common lead becomes a dual lead to binding posts 1 and 2. If the common lead is not doubled at the terminal strip, a three-wire circuit can be achieved by connecting the single common lead to binding post 1 and placing a jumper between binding posts 1 and 2 as indicated in dashed lines.

Vishay 1011

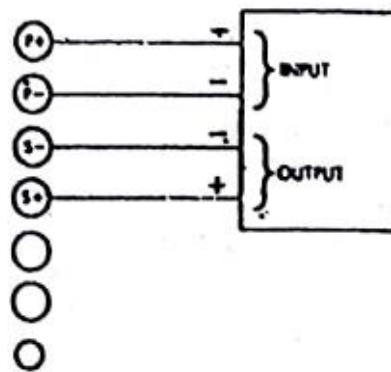
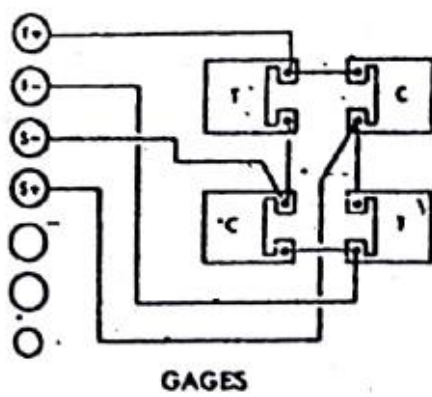




QUARTER BRIDGE



HALF BRIDGE



FULL BRIDGE

آزمایش شماره ۳

کاربرد استرین گیج ها – تعیین نسبت پواسون (Poisson's Ratio)

هدف آزمایش:

اندازه گیری نسبت پواسون تیر آلومینیومی به وسیله استرین گیج

مقدمه:

نسبت پواسون یکی از دو ثابت مهم الاستیسیته است (این دو ثابت عبارتند از مدول الاستیسیته E و ضریب پواسون ν). برای مثال رابطه تنش های محوری با این دو ثابت برای تنش دو محوری به صورت زیر می باشد:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x)$$

که در این روابط :

σ = تنش بر حسب (N/mm^2) Psi

ϵ = کرنش بر حسب (cm/cm) in/in

ν = نسبت پواسون (Poisson's Ratio)

E = مدول یانگ یا مدول الاستیسیته بر حسب (N/m^2) Psi

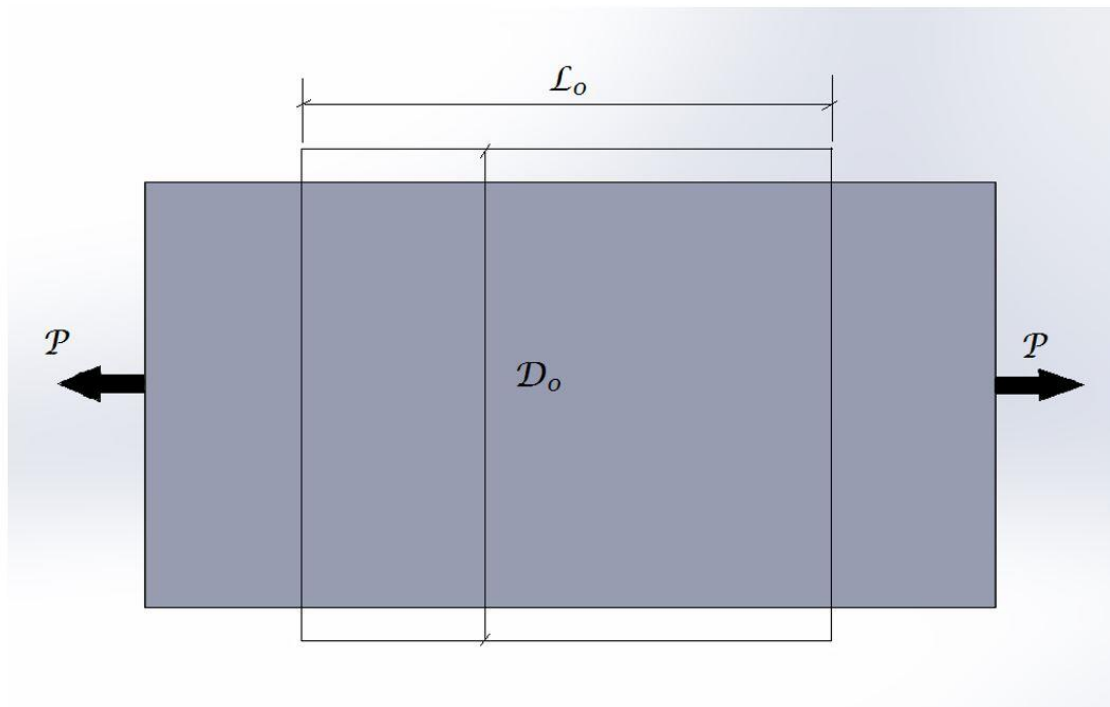
هر دو مقدار E و ν در تبدیل تنش به کرنش ضروری هستند.

آزمایش نشان می دهد هر گاه نمونه هموژن با ماده کاملاً الاستیک ایزوتروپیک تحت تنش در یک امتداد قرار بگیرد، نمونه نه تنها در جهت تنش وارده تغییر شکل میدهد بلکه در امتداد عمود بر امتداد تنش نیز تغییر شکل می یابد. بنا به تعریف نسبت پواسون عبارت است از قدر مطلق نسبت تغییر بعد نسبی عرضی به تغییر بعد نسبی طولی.

$$\epsilon_x = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\epsilon_y = \frac{\Delta D}{D_0}$$

$$\nu = \left| \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \right|$$



شکل ۱

نسبت پواسون همواره عدد مثبت و بدون بعد می باشد بنابراین برای به دست آوردن تغییر بعد نسبی عرضی در حوزه تنش تک محوری داریم:

$$\epsilon_y = -\nu \epsilon_x$$

نسبت پواسون برای فلزات بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ می باشد و برای سایر مصالح این نسبت بین حداقل ۰/۱ (برای بتن) و حداکثر ۰/۵ (برای لاستیک) تغییر می کند.

شرح دستگاه و نحوه انجام آزمایش:

میله مورد آزمایش آلیاژ آلومینیومی است به ابعاد **0.25 × 1 × 12.5 in** (**6 × 25 × 32 mm**) که بر روی آن دو استرین گیج، اولی در جهت طولی و دومی در جهت عرضی چسبانده شده است. مدار شماره (E-102) را طوری وصل کنید که در مرحله اول استرین گیج طولی و در مرحله دوم استرین گیج عرضی در مدار قرار بگیرد. بدین ترتیب مراحل آزمایشی را بطریق زیر انجام دهید:

۱- میله مورد آزمایش را در دستگاه بسته و مدار استرین گیج طولی را وصل کنید و درجه گیج فاکتور (G.F) را بر روی درجه مربوطه قرار دهید و دستگاه سنجش استرین را بالانس کنید. قبل از بالانس کردن دستگاه حساسیت دستگاه را طوری تنظیم کنید که با حداقل عقربه حداکثر انحراف را داشته باشد، آنگاه مطابق جدول (۱) در انتهای میله بارگذاری کرده و هر دفعه مقدار کرنش را اندازه بگیرید.

۲- بار وارد بر میله را بردارید و مدار استرین گیج عرضی را وصل کنید و دوباره دستگاه سنجش استرین را بالانس کرده و روش بالا را با همان مقادیر بارگذاری تکرار کنید و نتایج را در ستون دوم جدول (۱) یادداشت کنید.

تئوری آزمایش:

پیش از محاسبه نسبت پواسون با استفاده از استرین گیج های طولی و عرضی لازم است که استرین عرضی را برای استرین گیج مربوطه نسبت به حساسیت جهتی تصحیح کرد، برای اینکه استرین طولی در میله چندین برابر استرین عرضی بوده، بدین جهت گیج عرضی در جهت عمود بر محور اصلی خودش تحت استرین زیادتری قرار می گیرد. در نتیجه خطای زیادی روی استرین عرضی بوجود می آید.

این خاصیت گیج ها را حساسیت جهتی (Transverse Sensitivity) و با k_t نشان داده می شود. تصحیح حساسیت جهتی را میتوان به آسانی از منحنی ضمیمه انجام داد. برای استفاده از این منحنی دو کمیت لازم است:

۱- نسبت استرین طولی به استرین عرضی.

۲- حساسیت جهتی k_t که برای هر استرین گیج مشخص است.

و یا می توان استرین های واقعی را از روابط زیر به دست آورد:

$$\varepsilon_x = \frac{1 - Y_0 k_t}{1 - k_t^2} (\hat{\varepsilon}_x - k_t \hat{\varepsilon}_y)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1 - Y_0 k_t}{1 - k_t^2} (\hat{\varepsilon}_y - k_t \hat{\varepsilon}_x)$$

که در این روابط :

$\hat{\varepsilon}_x$ و $\hat{\varepsilon}_y$ = کرنش های عرضی و طولی اندازه گیری شده (تصحیح نشده)

ε_x و ε_y = کرنش های عرضی و طولی حقیقی

k_t = حساسیت جهتی استرین گیج ها (Transverse Sensitivity)

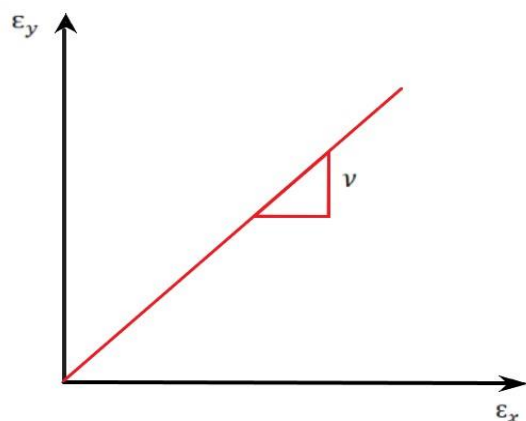
Y_0 = فاکتور ثابتی که مقدار آن برابر با ۰/۲۸۵ می باشد.

با توجه به اینکه $k_t = ۰/۰۱$ بوده روابط به صورت زیر در می آیند:

$$\varepsilon_x = 0.9972(\hat{\varepsilon}_x - k_t \hat{\varepsilon}_y)$$

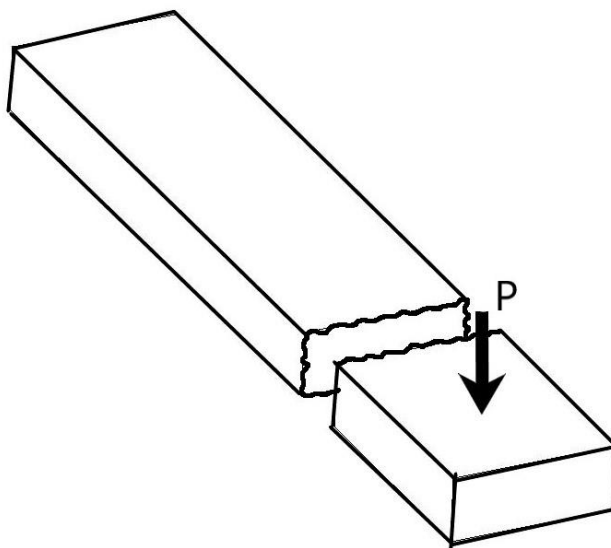
$$\varepsilon_y = 0.9972(\hat{\varepsilon}_y - k_t \hat{\varepsilon}_x)$$

پس از تصحیح مقادیر کرنش های استرین طولی و عرضی منحنی ϵ_y را نسبت به ϵ_x (مطابق شکل ۲) رسم کرده و از شیب آن نسبت پواسون را اندازه گیری کنید.



شکل ۲ - منحنی کرنش عرضی در برابر کرنش طولی

مقدار به دست آمده برای نسبت پواسون از طریق نمودار را با مقادیر نوشته شده در کتاب ها مقایسه کنید و در مورد منابع خطا بحث کنید و اثرات نسبی این خطا را نسبت به دقت نسبت پواسون بیان کنید.



شکل ۳

جدول (۱)

P (lb)	$\hat{\epsilon}_x$	$\hat{\epsilon}_y$	$\epsilon_x = 0.9972(\hat{\epsilon}_x - k_t \hat{\epsilon}_y)$	$\epsilon_y = 0.9972(\hat{\epsilon}_y - k_t \hat{\epsilon}_x)$
F ₁				
F ₂				
F ₃				
F ₄				
F ₅				
F ₆				

سوالات آزمایش:

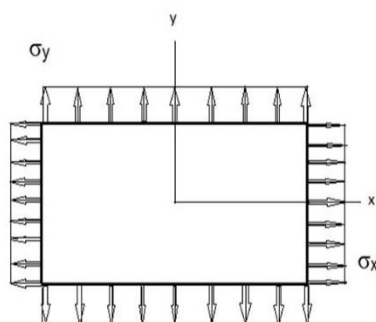
۱- در صورتیکه تنش مجاز آلومینیوم $\sigma = 15000 \text{ psi}$ باشد، حداکثر بار وارد بر انتهای میله را حساب کنید.

۲- با در نظر گرفتن نسبت پواسون σ_x و σ_y را برای بارگذاری های مختلف با فرض $E = 10.3 \times 10^6 \text{ Psi}$ به دست آورید.

۳- در صورتیکه E برابر همان مقدار بالا باشد، مقدار G را از رابطه بین E و ν و G به دست آورید.

۴- آیا بدون استفاده از استرین گیج از روش های دیگر می توان نسبت پواسون را به دست آورد یا نه؟ در صورت امکان برای نمونه با مقطع دایره توضیح دهید.

۵- هرگاه جسمی تحت دو تنش σ_x و σ_y قرار بگیرد روابط ϵ_x و ϵ_y را بر حسب σ_x و σ_y به دست آورید.



آزمایش شماره ۴

آرایش سه جهته استرین گیج ها

مقدمه :

اینکه یک قطعه ماشین و یا عضوی از ساختمان بطور مطمئن کار کند و یا در هم بشکند، بستگی به حداکثر تنش کاری وارده به آن دارد. متأسفانه در کارهای طراحی ما بطور دقیق تنش کاری واقعی را نمی دانیم، حتی اگر تئوری ما خیلی منطقی باشد، فقط برای اشکال هندسی ساده مناسب است، بنابراین در طراحی باید ضرایب اطمینان بالاتری اختیار کرد تا خطای ناشی از عدم آشنائی به ماهیت دقیق تنش ها از بین برود. زمانیکه قطعه ای در هنگام کار از بین می رود، معنایش این است که تنش های وارد بر آن قطعه در هنگام کار بیش از مقادیری که از راه تئوری بدست آمده بوده است. بایستی اطلاعات دقیقی در مورد تنش های حقیقی داشته باشیم تا بتوانیم دوباره قطعه را بطور صحیح طراحی کنیم بعبارت دیگر برای اینکه خطر از بین رفتن قطعه به حداقل برسد ما مجبوریم مقادیر واقعی تنشهای حقیقی که در حین کار بوجود می آید، در مرحله اولیه طرح در نظر بگیریم. از این رو، برای اندازه گیری تنشهای حقیقی تحت شرایط عملکرد واقعی قطعه از استرین گیج استفاده می کنیم. اما تنش در هر نقطه از یک قطعه بستگی به جهت اندازه گیری آن دارد. ولی بطور عمده مایلیم که ماکزیمم تنش در یک نقطه را بدانیم، این بدان معنی است که اندازه گیری کرنشها بایستی در جهت محورهای اصلی باشد، و چون در حالت عمومی تشخیص جهت محور اصلی مشکل است. بنابراین نمی توان مستقیماً تنشهای ماکزیمم را توسط یک گیج ساده اندازه گرفت، ولی اگر ما بتوانیم در طول سه محور مختلف در یک نقطه کرنشها را اندازه بگیریم و سپس سه معادله بدست آمده در این سه جهت نامعین را حل کنیم، بدین طریق می توانیم کرنشهای اصلی و در نتیجه تنشهای اصلی در آن نقطه را بدست آوریم. بنابراین، استرین گیج های با آرایش سه جهته برای این منظور ساخته می شوند تا اندازه گیری تنش ها را در سه جهت مختلف در یک نقطه مورد نظر ممکن سازند .

معمولاً در صنعت گیج های سه جهته را به دو فرم زیر می سازند :

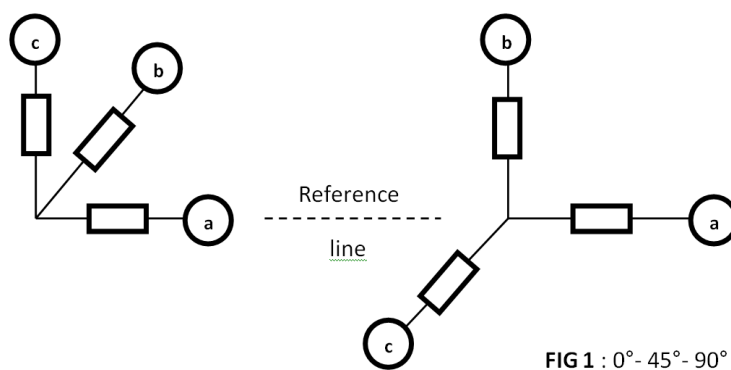
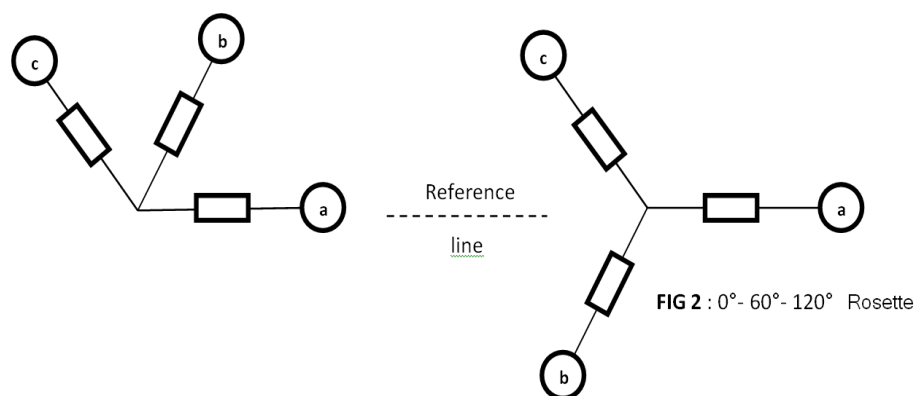
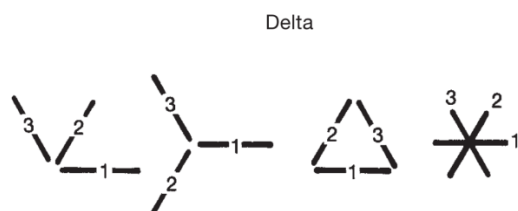


FIG 1 : 0° - 45° - 90° Rosette

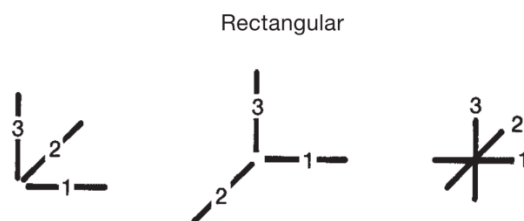


شکل ۱- انواع فرم های رایج گیج های سه جهته

۱- آرایش سه جهته مثلثی یا دلتا که گیج ها با همدیگر تشکیل یک مثلث متساوی الاضلاع می دهند.



۲- آرایش سه جهته راستگوشه ، که در آن دو تا گیج طوری قرار داده میشوند که خطوط امتداد آنها همدیگر را به زاویه ۹۰ قطع کنند و سومی در امتداد نیمساز زاویه این دو گیج قرار داده می شود.



این آرایش ها بدین علت انتخاب شده اند که عملیات ریاضی محاسباتی به حداقل برسد.

تئوری آزمایش :

هرگاه آرایش سه جهته مثلثی یا دلتا با زاویه 60° بکار رود و یا آرایش سه جهته راستگوشه با زاویه 45° به کار رود و هیچ یک از گیج ها روی محور های اصلی تیر قرار نگیرند (در صورت منطبق بودن هیچ عیبی ندارد) و کرنش های ناشی از بار وارده بر تیر دو سه جهت مختلف برابر با ε_1 و ε_2 و ε_3 باشند، تغییر طول های نسبی اصلی از روابط زیر بدست می آیند :

Delta (1):

$$\varepsilon_{p-q} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} \pm \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}$$

Rectangular (2):

$$\varepsilon_{p-q} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}$$

با معلوم شدن کرنشهای اصلی ε_p ، ε_q تنشهای اصلی σ_p ، σ_q را میتوان از روابط زیر حساب کرد :

$$\sigma_p = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_p + \nu \varepsilon_q)$$

(3)

$$\sigma_q = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_q + \nu \varepsilon_p)$$

وسایل آزمایش :

۱- وسیله نگهدارنده تیر کوچک آلومینیومی

۲- تیر کوچک آلومینیومی 6061-T6 به ابعاد $\frac{1}{8} \times 1 \times 12 \frac{1}{2}$ همرا با آرایش سه جهته گیج ها به فرم مثلثی یا راستگوشه

۳- دستگاه نشان دهنده تغییر طول نسبی

۴- وزنه های آزمایشگاهی

۵- خط کش و میکرومتر

روش انجام آزمایش :

۱- انتهای تیر کوچک آلومینیومی را که استرین گیج ها روی آن نصب شده اند در محل خود محکم ببندید.

۲- شاخص پیچ ضریب گیج دستگاه را روی عدد داده شده برای گیج ها قرار دهید (۲/۰۵).

۳- مدار گیج (۱) را مطابق نقشه وصل کنید.

۴- پس از روشن کردن دستگاه کنتور را روی عدد $4500 \mu\epsilon$ قرار دهید.

۵- بکمک پیچ بالانس عقربه کنتور را روی درجه وسط صفحه مدرج (موقعیت صفر) بیاورید.

توجه : بعد از یک تنظیم توسط پیچ بالانس ، دیگر تا آخر آزمایش به این پیچ دست نزنید.

۶- مقدار $4500 \mu\epsilon$ را بعنوان مقدار اولیه برای گیج (۱) برای حالت تیر قبل از بارگذاری یادداشت نمایید.

۷- پس از خاموش کردن دستگاه گیج (۱) را از مدار خارج کرده و گیج (۲) را وارد مدار کنید.

۸- دستگاه را روشن کنید و بکمک پیچ کنتور عقربه کنتور را به موقعیت صفر بیاورید. در این صورت شماره ای را که کنتور نشان می دهد ، بعنوان قرائت اولیه گیج (۲) یادداشت نمایید.

۹- مراحل ۷ و ۸ را بترتیب برای گیج (۳) تکرار کنید.

۱۰- در حالیکه گیج (۳) در مدار همچنان برقرار است دستگاه را خاموش کنید و مقدار بار مجاز p را که به انتهای آزاد تیر میتواند وارد شود از رابطه زیر حساب کنید :

$$P = \frac{\sigma_a b t^2}{6L}$$

P : نیروی مجاز وارده بر انتهای آزاد تیر [lb]

σ_a : تنش مجاز [psi]

L : طول موثر تیر [in]

$b \times t$: ابعاد مقطع تیر [in×in]

سپس به اندازه بار مجازی که محاسبه کرده اید، به انتهای تیر وزنه آویزان کنید و دستگاه را روشن کنید. بکمک پیچ کنتور عقربه کنتور را روی موقعیت صفر بیاورید و شماره ای را که کنتور نشان می دهد، بعنوان قرائت نهایی گیج (۳) یادداشت کنید.

۱۱- همچنان که بار روی تیر قرار دارد، گیج (۳) را از مدار خارج و گیج (۱) را وارد مدار کرده و بکمک پیچ کنتور عقربه کنتور را روی موقعیت صفر تنظیم کنید و قرائت نهایی گیج (۱) را یادداشت نمایید.

۱۲- مرحله ۱۱ را برای گیج (۲) تکرار و قرائت نهایی گیج (۲) را یادداشت کنید، برای کنترل خطای آزمایش بدون اینکه گیج (۲) را از مدار خارج کنید، بار را از روی تیر بردارید، مسلماً عقربه کنتور از موقعیت صفر خارج می شود، توسط پیچ کنتور عقربه را به موقعیت صفر بیاورید. در این صورت، شماره ای که کنتور نشان می دهد، باید نزدیک به قرائت اولیه (۲) باشد. هرگاه اختلاف این قرائت با قرائت اولی گیج (۲) بیش از $10\mu\text{E}$ باشد، خطای آزمایش از مجاز بیشتر بوده و آزمایش بایستی تکرار شود.

نتیجه گیری :

کرنش های اصلی را میتوانید از روابط (۱) و (۲) با توجه با اینکه از کدام نوع آرایش سه جهته گیج ها استفاده کرده اید بدست آورید . پس از محاسبه ε_p و ε_q نسبت پواسون را از رابطه $\nu = \left| \frac{\varepsilon_q}{\varepsilon_p} \right|$ حساب کنید و از معادلات (۳) تنشهای اصلی را بدست آورید .

زاویه بین محور گیج (۱) با محور اصلی را در جهت خلاف عقربه های ساعت می توانید از روابط زیر محاسبه نمایید .

برای آرایش مثلثی یا دلتا (۴)

$$\theta_{p-q} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3}$$

و برای آرایش راستگوشه (۵)

$$\theta_{p-q} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}$$

حال که تمام مسائل اساسی مربوط به تنشهای اصلی را بخوبی دریافتید ، یک گزارش کامل در مورد هدف، تئوری ، وسایل آزمایش ،نتایج، خطا ها و کاربرد آزمایش تهیه کنید.

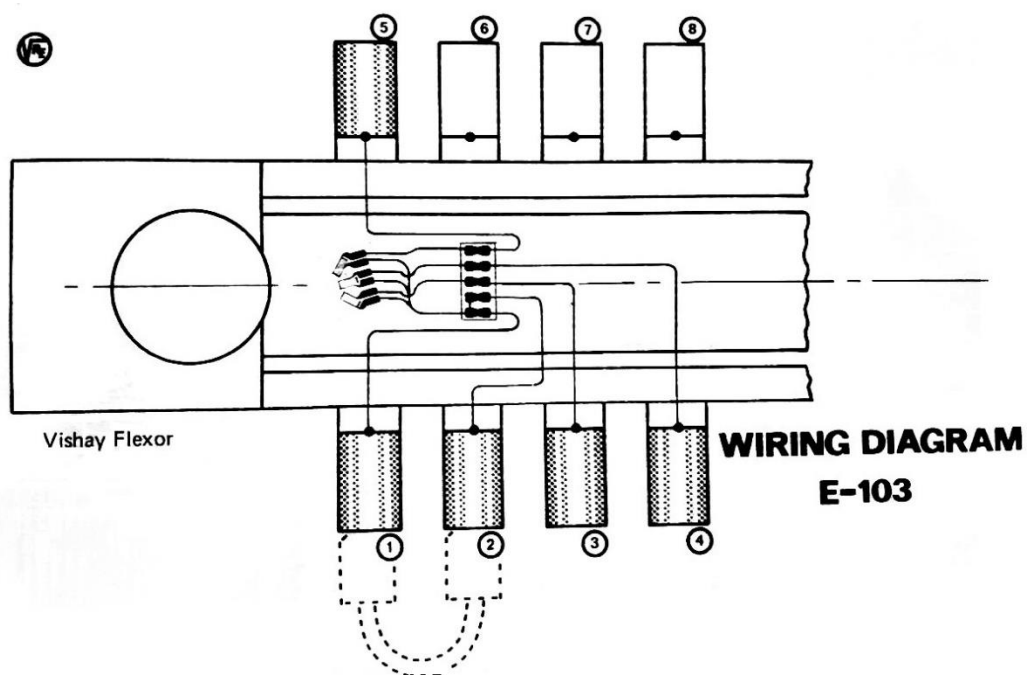
به سوالات زیر پاسخ دهید :

۱- تغییر طول های نسبی اصلی و زاویه بین محور های اصلی گیج (۱) را از طریق رسم دایره مور حساب کنید.

۲- روابط بین کرنش های اصلی و استرین های اندازه گیری شده را اثبات کنید.

$L =$ $b =$ $t =$

کرنش (ϵ)	قرائت نهایی	قرائت اولیه	ضریب گیج (G.F)	استرین گیج
				۱
				۲
				۳

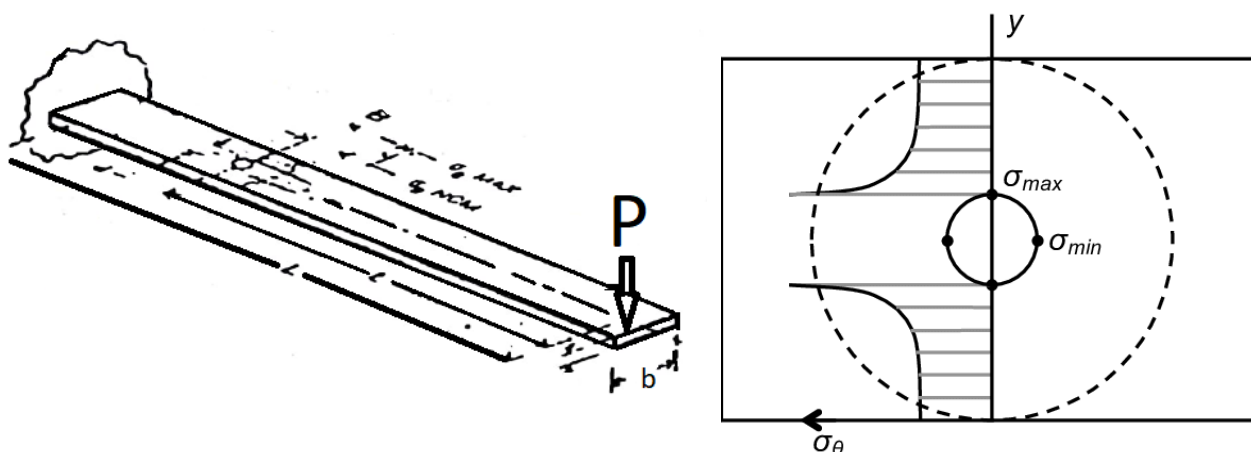


آزمایش شماره ۵

کاربرد استرین گیج ها - تمرکز تنش و تغییر طول نسبی

(Stress / Strain and concentration factor)

مقدمه : هدف از این آزمایش اندازه گیری ضریب تمرکز تنش (k_t) در اطراف یک بریدگی ، شکاف یا سوراخ می باشد برای این منظور و امکان مقایسه با تئوری، در این آزمایش سوراخی به شکل دایره در خط تقارن یک تیر کوچک ایجاد شده است.



تئوری : وجود هر نوع بی نظمی هندسی در یک قطعه مکانیکی بارگذاری شده و یا قطعه ای از ساختمان، آرایش معمولی خطوط تنش را برهم زده و سبب فشردگی این خطوط به هم شده که در نتیجه آن مقدار تنش به طور موضعی از مقداری که توسط فرمول های معمولی مقاومت مصالح بدست می آید، بیشتر می شود. چنین بی نظمی و یا ناپیوستگی را تمرکز تنش می نامند. شکل بالا وضعیت تنش در حالت عادی و تمرکز تنش را نشان می دهد . مطابق شکل بالا در مقطع تنش در پهنای تیر یکنواخت است و می توان آن را از رابطه زیر حساب کرد :

$$\sigma_A = \frac{M_A C}{I_A} = \frac{6PL}{bt^2}$$

نماد	دیمناسیون	کمیت
σ_A	$(N/m^2) \text{ psi}$	تنش
M_A	$(mN)in - lbs$	ممان خمش
I_A	$(m^4)in^4$	ممان اینرسی مقطع
P	$(N)lbs$	بار وارد بر تیر
C	$(m)in$	نصف ضخامت تیر

تنش اسمی (NOMINAL) در مقطع B در محل سوراخ بر مبنای سطح مقطع باقی مانده برابر است با :

$$\sigma_B(nom) = \frac{M_B C}{I_B} = \frac{6PL}{(b-d)t^2}$$

اگر محل سوراخ طوری انتخاب شود که رابطه $\frac{1}{L} = \frac{b-d}{b}$ برقرار باشد، در این صورت تنش اسمی در دو مقطع A و B برابر خواهد بود. البته باید توجه نمود که تنش ماکزیمم در مقطع B از لبه سوراخ به علت تاثیر تمرکز تنش خیلی بیشتر است و این تنش متناسب با افزایش فاصله از سوراخ به سرعت کاهش پیدا می کند و به مقدار اسمی خود می رسد .

بنا به تعریف ضریب تمرکز تنش (k_t) عبارت است از نسبت تنش ماکزیمم در اثر بالا رفتن تنش (STRESS RAISER) به تنش اسمی همان مقطع. یعنی :

$$k_t = \frac{\sigma_B(max)}{\sigma_B(nom)} = \frac{\sigma_B(max)}{6PL/(b-d)t^2}$$

از آنجاییکه تنش اسمی در دو مقطع تیر و تنش حداکثر در لبه سوراخ همگی همگی تک محوری و در یک جهت هستند، بنابراین تنش و تغییر شکل نسبی نسبت بهم رابطه خطی دارند. اگر تنش از حد خطی پابین تر باشد، می توان ضریب تمرکز تنش را نسبت به مقدار ماکزیمم تغییر شکل نسبی به مقدار اسمی آن در مقطع B فرض نمود. در این صورت :

$$k_t = \frac{\varepsilon_B(max)}{\varepsilon_B(nom)} = \frac{\varepsilon_B(max)}{\varepsilon_A}$$

وسایل آزمایش :

وسیله برای نگهداری تیر کوچک آلومینیومی

تیر کوچک آلومینیومی (7075 - T6) به ابعاد $\frac{1}{4} \times 1 \times 12 \times \frac{1}{2} in (6 \times 25 \times 320mm)$ همراه با استرین گیج ها و سوراخ برای تمرکز تنش دستگاه نشان دهنده کرنش (strain indicator)

روش آزمایش :

۱ - اطلاعات عمومی: در این آزمایش، تیر به طور خمشی تا حدی بارگذاری که تغییر طول نسبی اسمی از $2000\mu\varepsilon$ در مقطع B تجاوز نکند. همانطوریکه در مقدمه گفته شد، تغییر طول نسبی اسمی در مقطع B در همان نقطه اندازه گیری نمی شود؛ بلکه به جای آن در نقطه A اندازه گیری می شود. باید توجه نمود که تغییر طول نسبی اسمی نباید از $2000\mu\varepsilon$ بیشتر شود؛ زیرا تغییر طول نسبی حقیقی در لبه سوراخ خیلی

بیشتر از مقدار اسمی آن است و تغییر طول نسبی بیش از این حد سبب جاری شدن موضعی در اطراف سوراخ خواهد شد. تغییر طول های نسبی حقیقی در منطقه تمرکز تنش را می توان توسط سه گیج خیلی کوچک در مقطع B که به فواصل مختلف از لبه سوراخ قرار دارند، اندازه گرفت و با انتقال نتایج روی کاغذ میلی متری از نقاط بدست آمده برای گیج های ۱ و ۲ و ۳ منحنی مناسبی عبور داد و از آنجا ضریب تمرکز تنش k_t را تعیین نمود .

۲ - انتخاب استرین گیج و نصب آن: بطور کلی در اندازه گیری تمرکز تنش با استرین گیج باید بخاطر داشت که استرین گیج همیشه تغییر طول نسبی متوسط را در سطحی که استرین گیج پوشانده است، نشان می دهد و چون تغییر طول نسبی اسمی در فاصله خیلی کمی از نقطه تمرکز تنش به سرعت کاهش پیدا می کند، بنابراین باید کوچکترین گیج را بفاصله خیلی نزدیک به لبه سوراخ نصب کرد تا خطای آزمایش کاهش یابد. حتی با در نظر گرفتن دو عامل فوق، باز هم تنش نشان داده شده کمتر از تنش ماکزیمم حقیقی خواهد بود که این خطا را با روابطی که بعدا توضیح داده می شود، می توان تا حدی کاهش داد. به هر حال، گیج های نصب شده برای اندازه گیری تغییر طول نسبی نزدیک سوراخ نباید ابعاد بیشتر از $0.031 \times 0.031 \text{ in } (0.75 \times 0.75 \text{ mm})$ داشته باشند. البته بهتر است که ابعاد گیج های نصب شده در منطقه تمرکز تنش کمتر از ۱۰٪ شعاع سوراخ باشد. همچنین گیج چهارم که برای اندازه گیری تغییر طول نسبی به کار می رود، باید به اندازه کافی (حدودا ۶ میلی متر) از منطقه تمرکز تنش (لبه سوراخ) دور باشد.

فواصل مرکز گیج ها ۱ و ۲ و ۳ از لبه سوراخ به ترتیب برابر است با :

$0.200 \text{ in} \cdot 0.060 \text{ in} \cdot 0.020 \text{ in}$

$(5 \text{ mm} \cdot 1.5 \text{ mm} \cdot 0.5 \text{ mm})$

۳ - روش اتصال مدار و جمع آوری مطالب: خلاصه روش کار بدین ترتیب است که تیر کوچک آلومینیومی را بدقت سر جای خود می بندید. گیج ها باید به نوبت به دستگاه سنجش استرین وصل شوند. ابتدا در حالیکه تیر تغییر شکل نداده مقادیری را که هر کدام از گیج ها نشان می دهند، می خوانید و سپس همین کار را پس از تغییر شکل تیر تکرار می کنید. اختلاف بین مقادیر قبل و پس از تغییر شکل تیر مقدار تغییر طول نسبی قطعه در محل نسب هر گیج خواهد بود. حال که اصول آزمایش را فهمیدید جزئیات کار را به شرح زیر دنبال کنید:

۱) الف . مطابق شکل مدار پل و تستون را تکمیل کنید.

ب . پیچ ضریب گنج را روی عددی که برای گنج های ۱ و ۲ و ۳ بکار رفته تنظیم کنید. (این عدد برای گنج ۴ هم بکار می رود)

توجه : در طول آزمایش ضریب گنج را حتی برای گنج ۴ هم که ضریب گنج آن با سه گنج اولی فوق می کند تغییر ندهید. بعدا با یک تبدیل ساده می توان خطای این اختلاف ضریب پیچ را تصحیح نمود.

ج . کنتور دستگاه را روی شماره ای که بیان کننده $4500\mu\epsilon$ قرار داده دستگاه را روشن کنید.

د . توسط پیچ بالانش عقربه کنتور را روی موقعیت صفر آن زده و عدد کنتور را $(2500\mu\epsilon)$ به عنوان قرائت اولیه گنج ۱ برای حالت تیر بدون تغییر شکل یادداشت نمایید.

توجه : پیچ بالانس دستگاه را از این مرحله به بعد در تمام طول آزمایش تغییر ندهید

۲) الف . دستگاه را خاموش کنید گنج ۱ را از مدار خارج به جای آن گنج ۲ را وارد مدار نمایید .

ب . دستگاه را روشن کرده و عقربه کنتور را توسط پیچ کنتور روی موقعیت صفر بیاورید.

ج . شماره جدید کنتور را به عنوان قرائت اولیه گنج ۲ برای حالت تیر بدون تغییر شکل یادداشت نمایید.

۳) مرحله (۲) را برای گنج های ۳ و ۴ به ترتیب تکرار کرده و یادداشت کنید.

۴) الف . مدار گنج ۴ را همچنان وصل نگهدارید و فقط یکی از مقادیر زیر را به مقدار قرائت اولیه گنج ۴ اضافه کنید

$700.650.600.550.500.450.400\mu\epsilon$

ب. شماره کنتور را روی عدد بدست آمده از مرحله الف قرار دهید مسلما عقربه کنتور خارج از مقیاس صفحه مدرج قرار می گیرد.

روش اتصال مدار و جمع آوری نتایج :

خلاصه روش کار بدین ترتیب است که تیر کوچک آلومینیومی را بدقت سر جای خود می بندید، گنج ها بایستی به نوبت به دستگاه سنجش استرین وصل شوند. ابتدا در حالی که تیر تغییر شکل نداده مقادیری را که هر کدام از گنج ها نشان میدهند را میخوانید، و سپس همین کار را پس از تغییر شکل تیر تکرار می کنید، اختلاف بین مقادی قبل و پس از تغییر شکل تیر مقدار تغییر طول نسبی قطعه در محل نصب هر گنج خواهد بود. حال که اصول آزمایش را فهمیدید جزئیات کار را به شرح زیر دنبال کنید.

(۱) الف : مطابق شکل مدار پل و تستون را تکمیل کنید.

ب : پیچ ضریب گنج (G.F) را روی عددی که برای گنج های (۱) و (۲) و (۳) بکار رفته، تنظیم کنید. این عدد برای گنج (۴) هم بکار می رود.

توجه : در طول آزمایش ضریب گنج را حتی برای گنج (۴) هم که ضریب گنج آن با سه گنج اولی فرق می کند، تغییر ندهید، بعداً با یک تبدیل ساده می توان خطای این اختلاف ضریب گنج را تصحیح نمود.

ج : کنتور دستگاه را روی شماره ای که بیان کننده $4500 \mu\epsilon$ است قرار داده و دستگاه را روشن کنید.

د : توسط پیچ بالانس عقربه کنتور را روی موقعیت صفر آورده و عدد کنتور ($4500 \mu\epsilon$) را به عنوان قرائت اولیه گنج (۱) برای حالت تیر بدون تغییر شکل یادداشت نمایید.

توجه : پیچ بالانس دستگاه را از این مرحله به بعد در تمام آزمایش تغییر ندهید.

(۲) الف : دستگاه را خاموش کنید، گنج (۱) را از مدار خارج کرده و بجای آن گنج (۲) را وارد مدار نمایید.

ب : دستگاه را روشن کرده و عقربه کنتور را توسط پیچ کنتور روی موقعیت صفر بیاورید.

ج : شماره جدید کنتور را بعنوان قرائت اولیه گنج (۲) برای حالت تیر بدون تغییر شکل یادداشت نمایید.

(۳) الف : مرحله ۲ را برای گنج های (۳) و (۴) به ترتیب تکرار کرده و یادداشت نمایید.

(۴) الف : مدار گنج (۴) را همچنان وصل نگه دارید، و فقط یکی از مقادیر زیر را به مقدار قرائت اولیه گنج (۴) اضافه کنید ; $700, 650, 600, 550, 450, 400 \mu\epsilon$

ب : شماره کنتور را روی عدد بدست آمده از مرحله الف قرار دهید، مسلماً عقربه کنتور خارج از مقیاس صفحه مدرج قرار می گیرد.

ج : توسط پیچ میکرومتر به تیر تغییری شکل دهید، تا عقربه کنتور به موقعیت صفر برگردد. در این صورت تغییر طول نسبی در محل گنج (۴) و تغییر طول نسبی اسمی در محل سوراخ برابر مقدار انتخاب شده در مرحله ۴ خواهد بود. (بعداً بایستی این مقدار را با اندازه ی تاثیر کوچک ضریب گنج تصحیح نمود)

(۵) الف : دستگاه را خاموش کنید. گنج (۴) را از مدار خارج کرده و گنج (۳) را وارد مدار نمایید.

ب : دستگاه را دوباره روشن کنید و با تنظیم پیچ کنتور عقربه کنتور را به موقعیت صفر بیاورید.

ج : شماره ای را که کنتور نشان می دهد به عنوان قرائت ثانویه گنج (۳) برای تیر پس از تغییر شکل یادداشت نمایید.

(۶) مرحله ۵ را به ترتیب برای گيج های (۲) و (۱) تکرار کرده و مقدار نهائی هر یک را یادداشت نمائید.

(۷) در حالیکه گيج (۱) همچنان در مدار قرار دارد، می توانید خطای عملیات را کنترل کنید. بدین نحو که با پیچاندن میکرو کنترل در جهت عکس، بار را از روی تیر حذف نمائید، و سپس توسط پیچ کنترل عقربه کنترل را به موقعیت صفر بیاورید. در این صورت بایستی شماره کنترل تقریباً عدد $4500 \mu\epsilon$ را نشان بدهد، که این مقدار اولیه گيج (۱) بوده است، اگر اختلاف حاصل بیش از $10 \mu\epsilon$ باشد، خطائی صورت گرفته است و آزمایش را بایستی تکرار نمائید.

نتیجه گیری :

در صورتیکه از ضریب گيج مربوط به گيج های (۱)، (۲) و (۳) استفاده شود و ضریب گيج (۴) با این سه گيج فرق داشته باشد، کرنش گيج (۴) را می توان به صورت زیر برای ضریب گيج تصحیح کرد:

$$\epsilon_4 = \left(\frac{\text{ضریب گيج بکار رفته در دستگاه}}{\text{ضریب گيج (4)}} \right) \times \text{کرنش گيج (4)} \quad (۶)$$

نتیجه رابطه بالا کرنش در مقطع A و B تیر می باشد و بایستی در جدول نتایج یادداشت شود. تغییر طول های نسبی بوسیله گيج های (۱) و (۲) و (۳) را با کم کردن مقادیر اولیه از مقادیر نهائی هر گيج بدست آورده و در جدول نتایج یادداشت کنید.

تعیین معادله منحنی گسترش تنش و ضریب K_1 :

با وجود اینکه خط مرکز گيج (۱) خیلی نزدیک به لبه سوراخ می باشد (فقط 0.020 in یا 0.5 mm از لبه سوراخ فاصله دارد) کرنش متوسط قرائت شده توسط این گيج نسبتاً کمتر از کرنش ماکزیمم می باشد. مقدار ماکزیمم کرنش در لبه سوراخ را می توان با ادامه دادن منحنی بدست آمده تعیین نمود. برای تعیین این منحنی میتوان گسترش کرنش در اطراف سوراخ را بصورت زیر فرض کرد :

$$\epsilon = A + B(R/x)^2 + C(R/x)^4 \quad (۷)$$

در حالیکه : R شعاع سوراخ و x فاصله هر نقطه از مرکز سوراخ می باشد و A , B , C ضرایب مجهول معادله می باشند.

با جایگزینی نتایج بدست آمده توسط سه گيج (۱) و (۲) و (۳) در رابطه (۷) میتوان ضرایب مجهول C , B , A را تعیین نمود:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= A + B(R/x_1)^2 + C(R/x_1)^4 \\ \epsilon_2 &= A + B(R/x_2)^2 + C(R/x_2)^4 \\ \epsilon_3 &= A + B(R/x_3)^2 + C(R/x_3)^4 \end{aligned} \quad (8)$$

با توجه به اینکه :

$$R = 0.125 \text{ in } (3.18 \text{ mm})$$

$$x_1 = 0.145 \text{ in } (3.68 \text{ mm}) \quad x_2 = 0.185 \text{ in } (4.70 \text{ mm})$$

$$x_3 = 0.325 \text{ in } (8.26 \text{ mm})$$

و با حل معادلات (۸) برای A , B , C نتیجه می شود:

$$C = 5.86 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - 5.44 (\varepsilon_2 - \varepsilon_3) \quad (9)$$

$$B = 3.49 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - 1.2 C \quad (10)$$

$$A = \varepsilon_1 - 0.743 B - 0.552 C \quad (11)$$

با قرار دادن کرنشهای اندازه گیری شده در معادلات بالا ضرایب A , B , C بدست می آیند. چون در لبه سوراخ $R/x = 1$ است پس تغییر طول نسبی حداکثر در لبه سوراخ برابر است با :

$$\varepsilon_o = A + B + C$$

و ضریب تمرکز تنش (و تنش) نیز از رابطه $k_t = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_4}$ بدست می آید. در این رابطه ε_4 تغییر طول نسبی نشان داده

شده (و در صورت لزوم اصلاح شده) گنج (۴) می باشد.

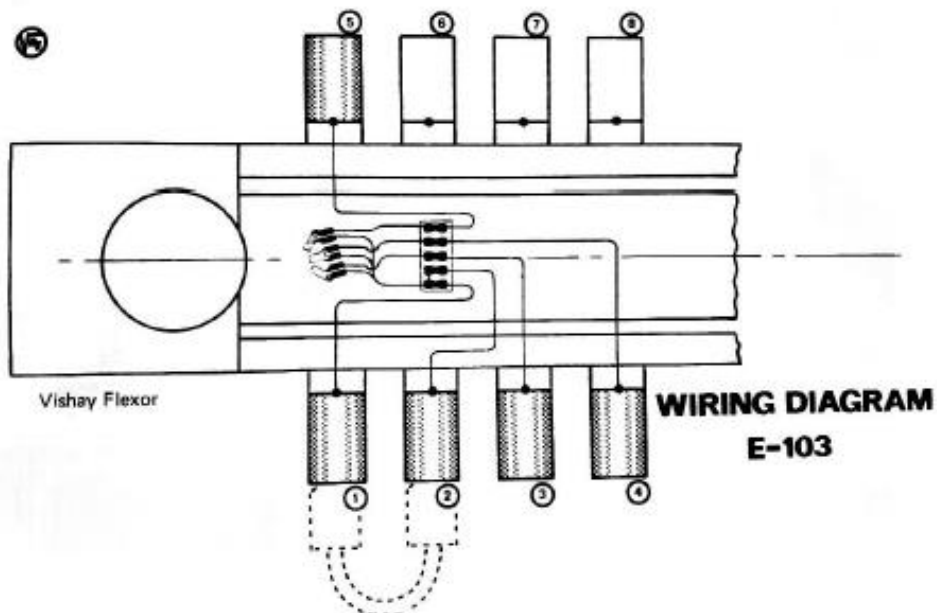
رسم منحنی :

کرنش های ε_o , ε_1 , ε_2 و ε_3 را در مقابل نسبت x/R روی کاغذ میلیمتری آورده و منحنی مناسبی از نقاط بدست آمده عبور دهید تا گسترش کرنش (تنش) در اطراف سوراخ بدست آید. (می توان با استفاده از متلب و یا اکسل منحنی مناسبی را برای نقاط بدست آمده برازش کرد). همچنین، یک گزارش کامل از مطالب اصلی با بینش خود و مشاهدات حاصل از آزمایش حاوی هدف از انجام آزمایش، وسایل مورد استفاده و نتایج حاصل از آزمایش تهیه نمائید که شامل توضیحاتی از خطا در آزمایش و تاثیر نسبی این خطا ها در دقت ضریب تمرکز تنش بدست آمده، باشد. همچنین نتیجه بدست آمده از این آزمایش را با ضریب تمرکز تنش حالت نظیر آن از تئوری و یا با منحنی های موجود در کتابهای طراحی و مقاومت مصالح مقایسه کرده و در صورت اختلاف دلائل لازم را ذکر کنید.

به سوالات زیر پاسخ دهید :

(۱) آیا روش تجربی دیگری برای تعیین ضریب تمرکز تنش میدانید؟ (شرح دهید)

Gage	قرائت اولیه	قرائت نهائی	کرنش (Strain)
1			
2			
3			
4			



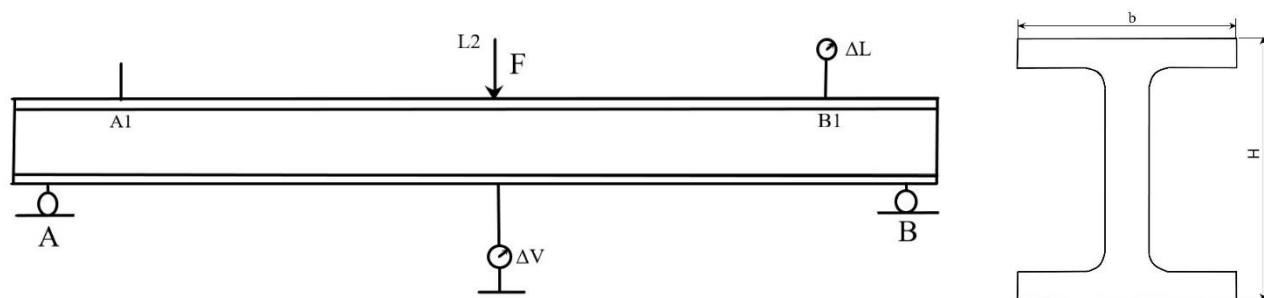
آزمایش شماره ۶

بررسی تنش های خمشی در تیر ها

هدف آزمایش: بررسی تنش و خیز در تیر تحت بارهای خمشی

طریقه آزمایش:

- ۱- تیر را بر روی دو تکیه گاه طوری قرار دهید که نیرو به وسط تیر اعمال شود.
- ۲- برای اندازه گیری تغییرات طول، یک اندیکاتور (ساعت اندازه گیری) در انتهای تیر (نقطه B_1) قرار دهید.
- ۳- برای اندازه گیری مقدار خمش (خیز)، اندیکاتور دیگری در وسط تیر، یعنی محل اعمال بار قرار دهید.
- ۴- ساعت های اندازه گیری را روی صفر قرار داده و واحد های آن ها را یادداشت نمایید.
- ۵- فواصل بین تکیه گاه ها و فواصل ساعت های اندازه گیری را به همراه ابعاد تیر آهن مورد آزمایش را یادداشت کنید.
- ۶- مقادیر مربوط به تغییرات طول تیر آهن و تغییرات خیز را در ازای مقادیر بار تا حداکثر مقدار آن یادداشت نموده و همچنین مقادیر فوق را برای برگشت نیروها نیز یادداشت نمایید.



نتایج و محاسبات لازم:

- ۱) جدول نیرو و تغییر طول تیر ΔL و تغییرات مربوط به خیز ΔV را تکمیل نموده و برای هر یک از آنها دیاگرام مربوطه را در کاغذ میلی متری رسم نمایید. (برای دو حالت رفت و برگشت).
- ۲) دیاگرام ممان خمشی (Bending Moment) و نیروی برشی (Shear Force) و مقادیر ممان و نیروی برشی را به دست آورید.

۳) با استفاده از رابطه زیر، مقادیر تئوریک تغییرات طول را برای طول L محاسبه نموده و دیاگرام حاصل از آزمایش را رسم نمایید. در مورد علل اختلاف مقادیر حاصل از آزمایش و تئوریک بحث نمایید.

$$\Delta L = \int_{A1}^{B1} \frac{M}{I} \frac{H}{2E} dx$$

۴) با استفاده از رابطه $\Delta V = \frac{FL^3}{48EI}$ مقادیر تئوریک خیز را محاسبه نموده و با مقادیر بدست آمده از آزمایش مقایسه و بحث نمایید.

ملاحظات	تنش خمشی در وسط تیر	ممان خمشی در وسط تیر	خیز آزمایش		نیرو	شماره
تغییر طول mm	Kg.f/mm ²	Kgf.cm	برگشت	رفت	kgf	
						1
						2
						3
						4
						5
						6
						7
						8
						9
						10

$$M = FL_1/4 \text{ [kg.cm]}$$

ممان

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

مدول الاستیسته

$$\sigma = \frac{M}{W} \cdot W = \frac{2I}{H}$$

تنش

ردیف	رفت						
	نیروی خمشی	تغییر طول در آزمایش ΔL_i	تغییر طول تئوریک ΔL_s	اختلاف آزمایش و تئوریک	خیز در آزمایش ΔV_i	خیز تئوریک ΔV_s	اختلاف آزمایش و تئوریک
n	Kg.f	1/100 mm	1/100 mm				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

ردیف	برگشت						
	نیروی خمشی	تغییر طول در آزمایش ΔL_i	تغییر طول تئوریک ΔL_s	اختلاف آزمایش و تئوریک	خیز در آزمایش ΔV_i	خیز تئوریک ΔV_s	اختلاف آزمایش و تئوریک
n	Kg.f	1/100 mm	1/100 mm				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

آزمایش شماره ۷

آزمایش پیچش

هدف : بدست آوردن مدول سختی یا ضریب ارتجاعی برشی مصالح

وسایل آزمایش:

دستگاه تست پیچش، قطعه نمونه با ابعاد معلوم، نقاله جهت تعیین زاویه پیچش

تئوری آزمایش :

از اصول مقاومت مصالح می توان نتیجه گرفت که زاویه پیچش یک میله تحت تاثیر گشتاور پیچشی به صورت زیر می باشد.

$$\phi = \frac{T L}{G J}$$

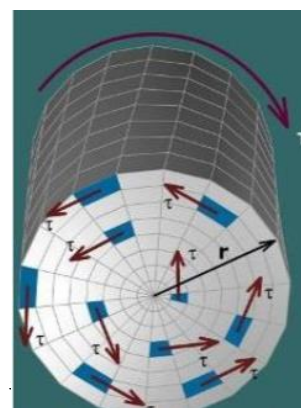
T = گشتاور پیچشی

L = طول نمونه

J = ممان اینرسی قطبی

ϕ = زاویه پیچش

G = مدول سختی یا برشی



L و ثابت است در این صورت رابطه ی بین ϕ و T به صورت خط مستقیم بوده که از شیب این خط می توان k و از آن جا $G = K \frac{L}{J}$ را محاسبه نمود.

$$T = \phi \frac{G \cdot J}{L} \longrightarrow T = K \phi$$

روش آزمایش :

- (۱) طول نمونه مورد آزمایش را اندازه گیری نمایید. (طول نمونه = L)
- (۲) قطر نمونه را اندازه بگیرید.
- (۳) کمترین سرعت پیچشی مبدا را از روی دستگاه یادداشت نمایید که کمترین سرعت $3\frac{1}{3}$ درجه در دقیقه است.
- (۴) با روشن نمودن موتور، دستگاه عمل پیچش شروع می شود و مقدار زاویه پیچش را در مقابل ممان ها و در فواصل معین تا آخرین حد یادداشت کنید.
- (۵) پس از رسیدن به آخرین حد آزمایش، جهت پیچش را عوض کنید و کاهش درجات پیچش را نیز در مقابل پیچش ممان ها یادداشت نمایید
- (۶) منحنی T (کوپل پیچشی) را برای هر یک از نمونه ها رسم کنید و از شیب منحنی ها K و از آنجا G را برای نمونه بدست آورید .

سوالات :

۱. فرمول زاویه پیچش را $\phi = \frac{T.L}{G.j}$ برای مقاطع توپر ثابت کنید.
۲. فرمول تنش برشی $\tau = \frac{T.\rho}{j}$ را ثابت کنید.
۳. با استفاده از جداول خواص مکانیکی مصالح ، تنش برشی جاری شدن را محاسبه نموده و گشتاور پیچشی و ممان مجاز را برای هر نمونه حساب کنید.
۴. با استفاده از نسبت پواسون که از جداول مقاومت مصالح بدست می آوریم و با استفاده از G حاصل از آزمایش، مدول الاستیسیته E را برای نمونه مورد آزمایش محاسبه و با مقادیر جدول مقایسه کنید.
۵. فرض کنید به جای یک محور توپر به قطر $d=1(\text{cm})$ محوری توخالی به همان مقاومت در پیچش جایگزین شود در صورتیکه با این عمل ۵۰٪ در مصالح صرفه جویی می شود

$$k = \frac{\text{سطح مقطع تو خالی}}{\text{سطح مقطع توپر}} \quad \text{(قطر خارجی و داخلی محور توخالی را حساب کنید.)}$$

ردیف	T _{رفت} (Kg.cm)	T _{برگشت} (Kg.cm)	Ø _{رفت} (deg)	Ø _{برگشت} (deg)	Ø _{رفت} (rad)	Ø _{برگشت} (rad)	زاویه چرخش در طول (rad)	زاویه پیچش در واحد طول (rad/cm)	G (kgf/cm ²)	تنش پیچشی (MPa)
n	-	-	-	-	-	-	$\gamma = \frac{r \cdot \theta}{L}$	$\gamma = \frac{\theta}{L}$	$G = \frac{T \cdot L}{\theta \cdot j}$	$\tau = \frac{T \cdot \rho}{j}$
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										
۷										
۸										

آزمایش شماره ۸

آزمایش ضربه (Impact)

وسایل آزمایش: کولیس، قطع نمونه‌ی فولادی (۳ عدد)، گیره ثابت، سوهان، اره، دستگاه ضربه

هدف آزمایش: بدست آوردن ضریب تراکم و انرژی شکست فلز

مقدمه آزمایش: هنگامی که تنش خارجی بر یک جسم وارد می‌شود، آن جسم تغییر شکل می‌دهد و یا به عبارت دیگر در آن کرنش به وجود می‌آید. اگر مقدار تنش به تدریج افزایش یابد، در نهایت قطعه می‌شکند. همه مواد به یک صورت نمی‌شکنند و نوع شکست حاصله ممکن است نرم یا ترد باشد. نوع شکست تا اندازه زیادی تابع طبیعت ماده و شرایط آن است، ولی شکست تحت تاثیر عوامل دیگری نیز قرار دارد که از جمله نوع تنش، آهنگ افزایش تنش، دما و محیط است.

می‌دانیم در صنعت، بارهای وارده بر قطعات فقط به صورت استاتیکی نیستند و می‌توانند ضربه ای نیز باشند، لذا لازم است علاوه بر ایمن کردن قطعه در مقابل شکست ناشی از خستگی و بارهای استاتیکی، تدابیری برای پیشگیری از شکست قطعه در اثر بار ضربه‌ای اندیشیده شود. برای تحقق این امر، ابتدا باید انرژی لازم برای شکستن قطعه در دماهای مختلف را بدست آورد و تست‌های کشش و فشار نمی‌توانند رفتار فلزات را در مقابل ضربه تعیین کنند و به این علت برای تعیین انرژی مذکور از آزمایش ضربه استفاده می‌شود.

فلزات بر اساس انرژی شکست، به دو دسته‌ی نرم (Ductile) و سخت و ترد (Brittle) تقسیم می‌شوند. طبق تعریف هرچه انرژی شکست فلز زیاد باشد، آن را نرم‌تر و هرچه قدر انرژی شکست فلز کمتر باشد آن را سخت‌تر و تردتر می‌گویند.

تئوری آزمایش: آزمون ضربه یکی از روش‌های استاندارد برای تعیین انرژی شکست مواد تحت تنش دینامیکی است. اطلاعاتی که از این آزمون بدست می‌آیند، در درک چگونگی رفتار مواد در موقعیت‌های کاربردی بسیار مفید است. نیروی خارجی وارد به سازه یا قطعه، هنگامی بار ضربه‌ای نامیده می‌شود که زمان اعمال بار کمتر از یک سوم کوتاه‌ترین تناوب طبیعی ارتعاش قطعه یا سازه باشد.

از کاربرد های این آزمایش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کمک به انتخاب صحیح مواد در شرایط دارای تنش و دمای مشخص
- تخمین و طبقه بندی رفتار شکست ترد
- ارزیابی خصوصیات سطح مقطع شکست
- بررسی میزان حساسیت مواد به شکاف

دستگاه ضربه حاوی چکشی با وزن معلوم است که از ارتفاعی مشخص به صورت آونگی و ناگهانی (ضربه‌ای) سقوط کرده و به قطعه نمونه برخورد می‌کند و از این طریق و با استفاده از خط کش مدرج روی دستگاه، انرژی شکست قطعه اندازه‌گیری می‌شود.

کمیت اصلی که از آزمایش ضربه اندازه‌گیری می‌شود، انرژی جذب شده در شکست نمونه است.

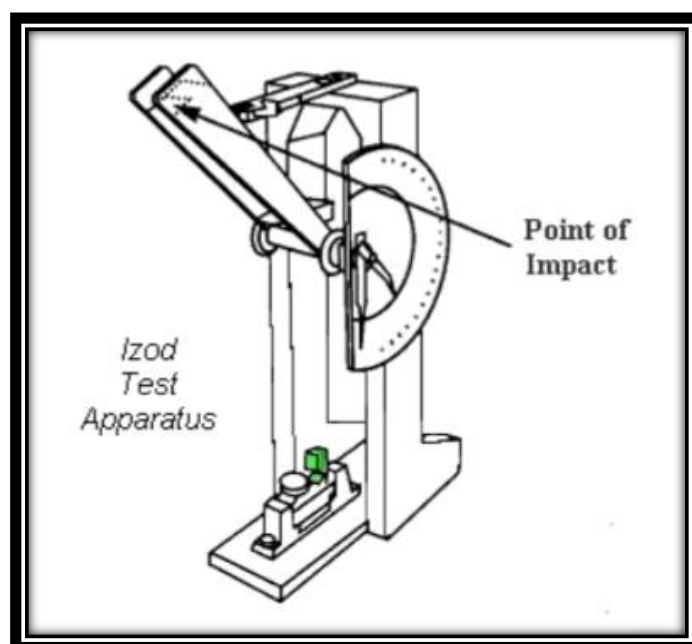
معیار دیگری که از این آزمایش به دست می‌آید، تعیین نوع شکست از روی نوع سطح شکست است.

آزمایش ضربه به دو نوع انجام می‌شود.

- آزمایش ضربه ایزود (Izod Impact Test)

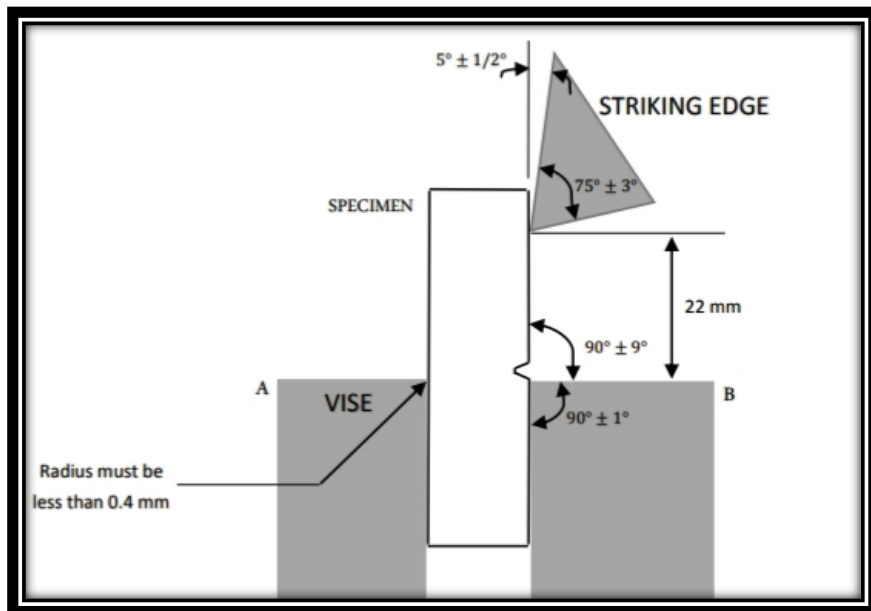
- آزمایش ضربه شارپی (Charpy Impact Test)

ماشین ایزود از یک آونگ سنگین با وزن معلوم نصب شده در یک قاب محکم تشکیل شده است. آونگ از یک ارتفاع معلوم به صورت ناگهانی با قطعه برخورد می‌کند و انرژی لازم برای شکستن نمونه اندازه‌گیری می‌شود.



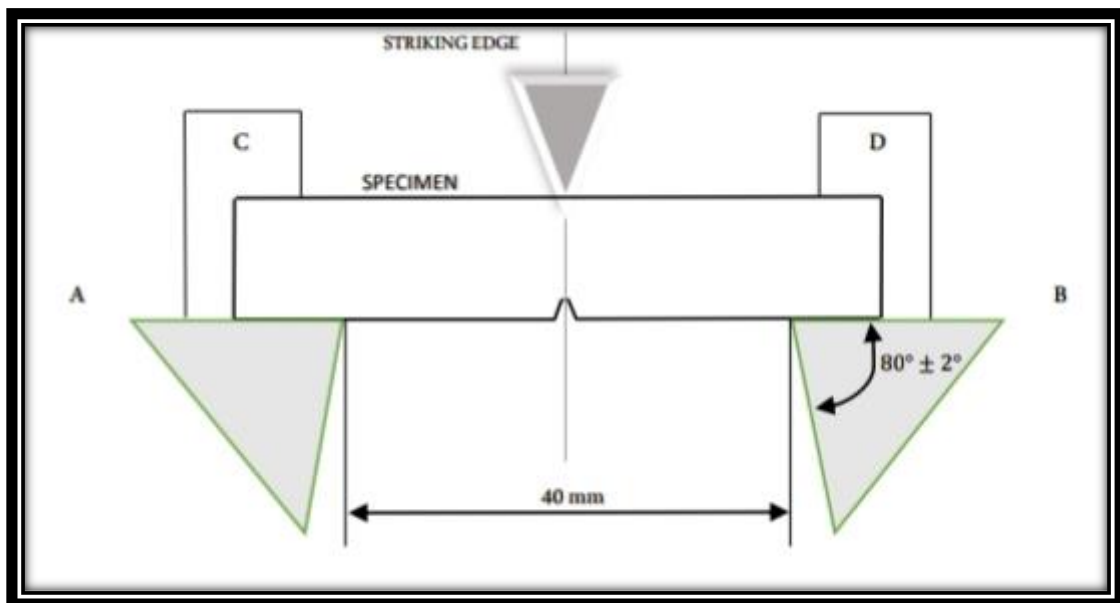
الف) آزمون ضربه نمونه شیاردار به روش ایزود:

در این روش نمونه در حالت قائم در تکیه گاه به صورت تیر یک سرگیردار گذاشته می‌شود و ضربه توسط چکش در سمت شیار وارد می‌شود. انرژی اولیه لازم برای شکستن در این حالت ۱۵ Kg.m می‌باشد و این روش بیشتر در اروپا متداول است.



ب) آزمون ضربه نمونه شیاردار شاری:

در آزمون شاری نمونه آزمایش به حالت تکیه‌گاه ساده مستقر است و ضربه در وسط دهانه تیر درست پشت محل شیار وارد می‌شود. انرژی اولیه لازم برای شکستن در این حالت ۱۵ kg.m می‌باشد.



مزیت اصلی آزمایش ضربه شاری با شیار V این است که آزمایش بسیار ساده‌ای است که در آن از یک نمونه آزمایش کوچک استفاده می‌شود. آزمایش به سادگی در دامنه‌ای از دماهای مختلف قابل اجرا است. این آزمایش برای مقایسه اثر نوع آلیاژ و عملیات حرارتی بر چقرمگی شیار به کار می‌رود و غالباً از آن برای کنترل کیفیت و به منظور انتخاب مواد استفاده می‌شود.

پارامترهای مؤثر در آزمایش استحکام ضربه:

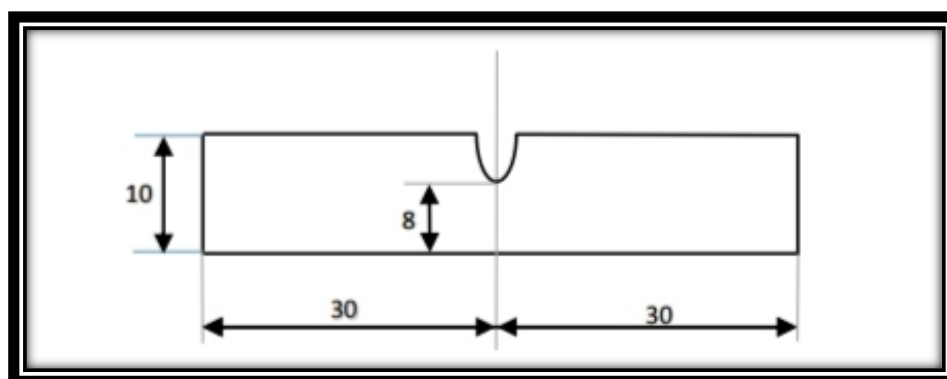
فرم و اندازه نمونه: یکی از پارامترهایی که روی رفتار شکست قطعات تاثیر می‌گذارد، هندسه قطعه و شرایط سطح آن‌هاست. تغییر ناگهانی مقطع و یا یک شکاف سطحی به عنوان یک نقطه تمرکز تنش درون ماده عمل می‌کند.

درجه حرارت نمونه: درجه حرارت نمونه نیز حائز اهمیت است. نرم بودن فلزات و قابلیت انعطاف‌پذیری آن‌ها، با درجه حرارت فلز، رابطه مستقیم دارد و با افزایش دمای فلز، فلز نرم‌تر شده و انرژی شکست بیشتری خواهد داشت؛ حال آنکه با کاهش دما، فلزات ترد و شکننده‌تر می‌شوند و لذا انرژی شکست آن‌ها کمتر خواهد بود.

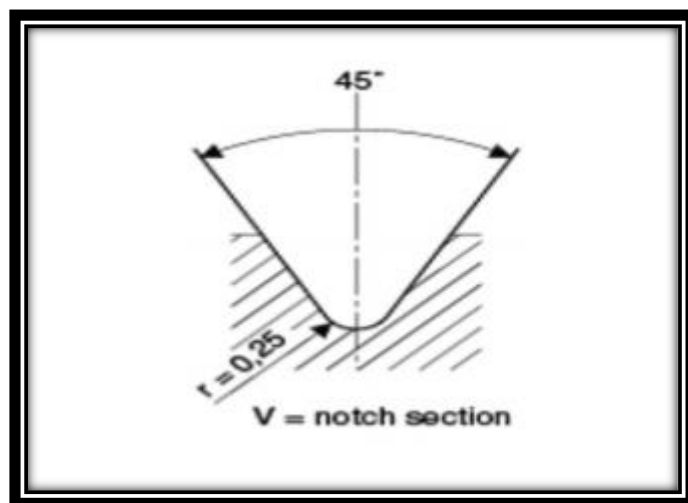
نوع و عمق شیار: با کاهش شعاع انحنای راکورد در محل تغییر مقطع و یا کاهش شعاع انحنای بین شکاف، ضریب تمرکز تنش افزایش می‌یابد؛ اگر چه حساسیت همه مواد به ترک یکسان نیست، اما وجود این‌گونه مراکز تمرکز تنش شدید، احتمال شکست ترد قطعه را در شرایط بارگذاری ضربه‌ای به میزان چشمگیری افزایش می‌دهد. موادی که عموماً ترد هستند، معمولاً به وجود ترک و تغییرات شدید سطح مقطع شدیداً حساس هستند.

شرح عملی آزمایش:

ابتدا سه نمونه از فولاد به طول ۶۰ میلی‌متر و سطح مقطع مربعی با مساحت ۱۰۰ میلی‌متر مربع انتخاب کرده سپس بوسیله‌ی اره و سوهان شکافی V شکل به عمق ۲ میلی‌متر ایجاد کنید. البته بصورت دقیق این عمق بایستی دارای زاویه راس ۴۵ درجه باشد. مانند شکل زیر:



فرم شکاف نیز بصورت زیر است:



در این آزمایش، تست ضربه به روش شاریپی انجام می‌گیرد که دارای استانداردهای مختلفی است که در اینجا از استاندارد ISO استفاده می‌شود. نمونه را در دستگاه ضربه به صورتی قرار دهید که چکش دقیقاً در روی راس شکاف و از طرف ضلعی که شکاف در آن ایجاد نشده، با قطعه مورد نظر برخورد کند. در اینصورت، در واقع یک تیر با دو تکیه گاه ساده خواهید داشت.

در ادامه، چکش مورد نظر را به وسیله ضامن آن آزاد کرده و تا ارتفاع مورد نظر بالا ببرید که این حداکثر انرژی ۳۰ (کیلوگرم نیرو در متر) می‌باشد. البته قبل از این کار از صفر بودن انرژی دستگاه بوسیله انرژی سنج کنار آن مطمئن شوید. (خواندن انرژی اولیه)

حال با کشیدن ضامن چکش، رهاسازی آغاز می‌شود و چکش پس از برخورد با قطعه مورد نظر از طرف دیگر دستگاه اوجی دوباره می‌گیرد. در این حال انرژی ثانویه را قرائت کنید. مراحل فوق را برای دو قطعه نمونه دیگر نیز تکرار کنید و داده‌های بدست آمده را در جدول زیر وارد کنید:

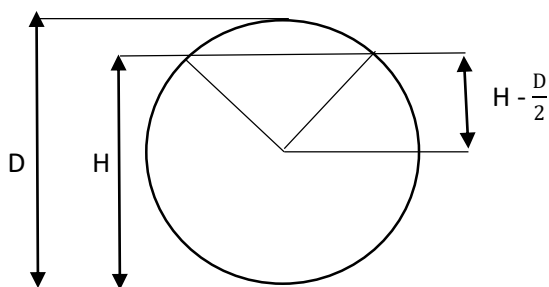
جنس	شماره تست	انرژی شکست [Kgf.m]	انرژی اولیه [Kgf.m]	عمق شیار [mm]	سطح شکست [m^2]	ضرب تراکم [$\frac{J}{m^2}$]
فولاد (Mild Steel)	1					
	2					
	3					
چدن (Cast Iron)	1					
	2					
	3					

ضریب تراکم که در جدول درج شده، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_k = \frac{E}{A} \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

که E انرژی تراکم (شکست) و A سطح شکستگی می‌باشد.

مساحت سطح شکستگی را با اندازه‌گیری قطر میله (D) و همچنین اندازه (H) به طریق زیر بدست می‌آوریم:
این مساحت برابر با تفاضل مقطع قائم میله و قطر دایره بریده شده‌است.



محاسبات به ترتیب زیر صورت گیرد.

۱- H و D را با کولیس چند بار اندازه گرفته و میانگین آنها را بدست آورید.

۲- مقدار H را از رابطه زیر بدست آورید:

$$H_1 = \frac{2H}{D} - 1$$

۳- مقدار زاویه θ را از رابطه $\theta = \cos^{-1} H_1$ که مقدار آن با استفاده از ماشین حساب و یا جداول مثلثاتی قابل محاسبه است، بدست می‌آورید.

۴- مقدار $\sin 2\theta$ را بدست آورید.

۵- مساحت قطعه دایره‌ای بریده‌شده را از رابطه زیر بدست آورید:

$$A_1 = \frac{D^2}{8} (2\theta - \sin 2\theta)$$

لازم به ذکر است که در رابطه فوق مقدار θ برحسب رادیان است.

سطح مقطع شکسته شده نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} - A_1$$

آزمایش شماره ۹

آزمایش تیر سرتاسری یا چند تکیه‌گاهی

وسایل آزمایش: ساعت اندیکاتور، تیر فولادی، پایه (به عنوان تکیه‌گاه)، وزنه‌های ۱۰ کیلوگرمی، قلاب وزنه‌ها، متر

هدف آزمایش: به دست آوردن ممان خمشی در تیر نامعین استاتیکی از روش تئوری و تجربی و مقایسه نتایج با یک دیگر (آنالیز تجربی سیستم هایپر استاتیک)

مقدمه آزمایش: در علم استاتیک، سازه‌ها به دو دسته‌ی معین استاتیکی (ایزو استاتیک) و نامعین استاتیکی (هایپر استاتیک) تقسیم می‌شوند.

اگر تعداد معادلات تعادل استاتیکی (قانون دوم نیوتن) برای تعیین نیروهای داخلی و تکیه‌گاهی کافی باشد، سیستم را معین استاتیکی و اگر تعداد معادلات تعادل استاتیکی برای تعیین نیروهای داخلی و واکنشی تکیه‌گاهی موجود در آن سازه کافی نباشد، آن سیستم را نامعین استاتیکی یا هایپر استاتیک گویند.

سیستم‌های هایپر استاتیک امروزه در بسیاری از سازه‌ها بکار می‌روند. به عنوان نمونه، جرثقیل‌های ریلی را که بر روی یک ریل که بر چندین تکیه‌گاه مختلف سوار شده است، قرار دارند، می‌توان گونه‌ای از سیستم هایپر استاتیک در نظر گرفت.

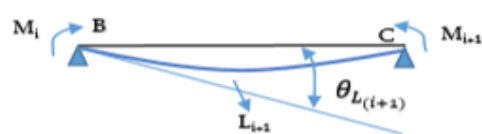
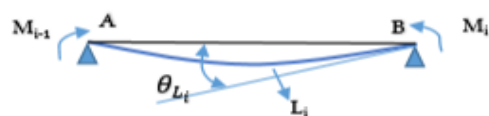
تئوری آزمایش :

هدف از انجام این آزمایش آنالیز یک سیستم هایپر استاتیک که دارای n تکیه‌گاه است، می‌باشد. که به ترتیب با عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی R_0 و R_1 و R_2 و ... و R_{n-1} و لنگر خمشی M_0 و M_1 و M_2 و ... و M_{n-1} نام‌گذاری می‌شوند. همانطور که گفته شد، این تیر، یک مساله‌ی نامعین استاتیکی است و می‌توانید آن را با استفاده از تئوری سه لنگر حل کنید.



مطابق شکل زیر دو دهنه I_i و I_{i-1} را از بقیه‌ی تیر (سیستم) ایزوله کرده و اثر قسمت‌های ایزوله شده را به صورت لنگر خمشی $M_i \cdot M_{i+1}$ و $M_i \cdot M_{i-1}$ روی دهنه‌ها اعمال کنید.

معادله سه لنگر بین دو دهانه ایزوله شده که در شکل نیز نشان داده شده اند، به صورت زیر است:



$$M_{i-1}l_i + 2M_i(l_i - l_{i+1}) + M_{i+1}l_{i+1} = -6EI(\theta_{l_{ip}} - \theta_{l_{(i+1)p}})$$

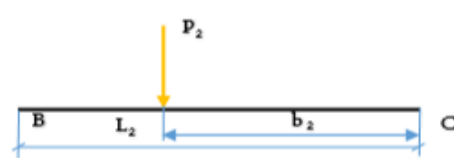
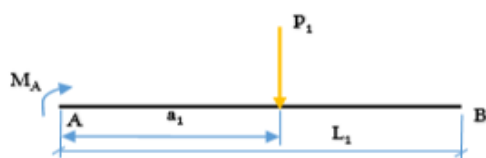
برای دو دهانه با تکیه گاه ساده داریم:

$$M_{i-1} = M_{i+1} = 0$$

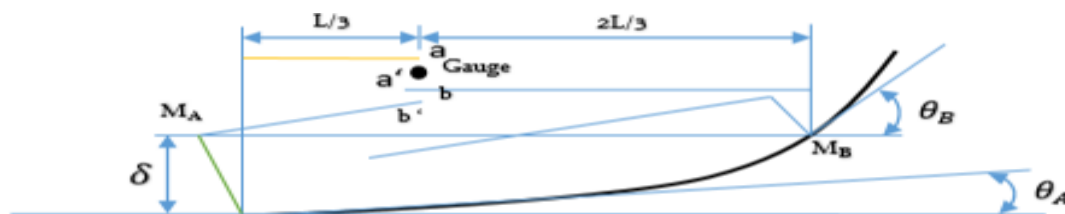
با ساده سازی معادله فوق داریم:

$$2M_B(L_1 + L_2) = -\frac{P_1 a_1}{L_1} (L_1^2 - a_1^2) - \frac{P_2 b_2}{L_2} (L_2^2 - b_2^2)$$

که هر یک از پارامترهای به کار رفته در رابطه بالا در شکل های زیر نشان داده شده اند:



روش فوق، حل تئوری و نظری این سیستم های پیراستاتیک است. حال برای آنالیز تجربی این سیستم نامعین و اندازه گیری تجربی لنگر تکیه گاهی، یک گیج مطابق شکل زیر که تکیه گاه های آن به فاصله ی معلوم L از هم دیگر قرار دارند و خود گیج به فاصله ی $\frac{L}{3}$ و $\frac{2L}{3}$ از آن ها قرار دارد، روی تیر نصب کرده و به طور مستقیم با استفاده از معادله شیب تغییر مکان، لنگرهای تکیه گاهی را محاسبه می کنید.



$$\begin{cases} M_{AB} = \frac{2EI}{L} \left(2\theta_A + \theta_B - \frac{3\delta}{2} \right) \\ aa' = \frac{2L}{3} \theta_A - \delta \end{cases}$$

$$bb' = \frac{L}{3} \theta_B$$

$$aa' + bb' = \left(\frac{2L}{3} \theta_A - \delta + \frac{L}{3} \theta_B \right)$$

$$D = \frac{L}{3} \left(2\theta_A + \theta_B - \frac{3\delta}{2} \right)$$

مقدار D در رابطه بالا همان مقدار خوانده شده توسط گیج (ساعت اندیکاتور) است.

از تقسیم رابطه شیب خیز به رابطه‌ی بالایی داریم:

$$M_{AB} = \frac{6EI}{L^2} D$$

از رابطه‌ی بدست آمده‌ی اخیر نیز می‌توان با معلوم بودن جنس تیر و ابعاد آن، لنگر خمشی مربوطه را از راه تجربی بدست آورد.

شرح عملی آزمایش:

ابتدا به وسیله‌ی متر فاصله‌های L_1 و L_2 و a_1 و b_2 را اندازه‌گیری کرده و یادداشت نمایید. سپس فاصله‌ی بین دو تکیه‌گاه ساعت اندیکاتور ($\bar{L}$) را اندازه‌گیری کنید. ساعت اندیکاتور به گونه‌ای بین دو تکیه‌گاه خود قرار گرفته که فاصله‌ی آن از یک تکیه‌گاه $\frac{L}{3}$ و از دیگری $\frac{2L}{3}$ است. ساعت اندیکاتور را زمانی که قلاب‌های مخصوص وزنه‌ها روی تیر قرار دارند و هیچ‌گونه بارگذاری با وزنه‌ها صورت نگرفته، در حالت صفر یا تعادل قرار دهید.

ساعت اندیکاتور دارای درجه‌بندی‌هایی است که فاصله بین هر ۲ خط آن معادل ۰/۰۰۱ اینچ است.

بارگذاری را در ۸ حالت مختلف انجام دهید. برای هر حالت از دو روش‌های تجربی و تئوری، مقدار گشتاور خمشی وارده بر تیر را بیابید و یافته‌های خود را در جدول زیر یادداشت نمایید.

• روش تئوری:

مقدار P_1 و P_2 را در فرمول زیر جانشانی کنید و مقدار گشتاور خمشی را بدست آورید.

$$2M_B(L_1 + L_2) = -\frac{P_1 a_1}{L_1} (L_1^2 - a_1^2) - \frac{P_2 a_2}{L_2} (L_2^2 - b_2^2)$$

• روش تجربی:

تغییرات ساعت اندیکاتور (D) را از وضعیت تعادل هنگامی که بارگذاری‌های P_1 و P_2 بر روی تیر قرار دارند، را از روی ساعت خوانده و با استفاده از رابطه زیر مقدار گشتاور را به دست آورید.

$$M_{AB} = \frac{6EI}{L^2} D$$

$$EI_{beam} = 984816 \text{ Kgf.cm}^2$$

مرحله	P_1 (Kgf)	P_2 (Kgf)	قرائت گیج مکانیکی به اینچ (D)	M_B (Kg.cm ²) تجربی	M_B (Kg.cm ²) تنوری
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					

آزمایش شماره ۱۰

آزمایش فنر

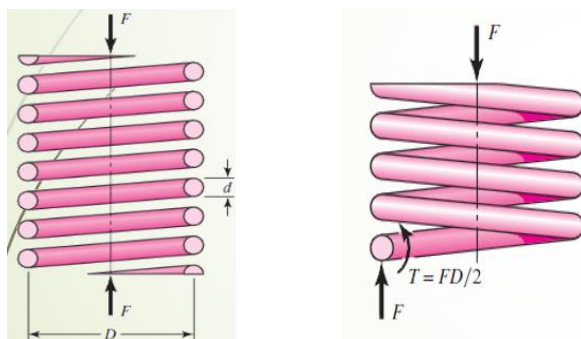
هدف : تعیین ضریب فنریت (C)، تنش پیچشی فنر (τ)، ضریب ارتجاعی (G)

لوازم مورد نیاز آزمایش : فنر، پایه، وزنه با جرم های متفاوت، کولیس، متر، قلاب

تئوری آزمایش :

هرگاه یک فنر تحت تأثیر یک نیروی کشش قرار گیرد، طول فنر اضافه می شود. این افزایش طولی تا جایی که از حد کشسانی (ناحیه ی الاستیک) تجاوز نکند، با نیروی کشش متناسب است. آنچه گفتیم بیان قانون هوک است. بر اساس قانون هوک اگر نیروی کشش F باشد، باید $F = C(x - x_0)$ باشد که در آن x_0 طول اولیه فنر، x طول ثانویه و C ضریب فنریت است.

برای توضیح تنش پیچشی در فنر، فنی مانند شکل در نظر گرفته که نیروی محوری F را اعمال می کنیم. حال برای بررسی نیروهای وارده در هر مقطع قسمتی از فنر را جدا کرده ایم. این مقطع برای تعادل، نیروی برشی F و یک گشتاور پیچشی $T = FD/2$ را تحمل میکند.



تنش برشی پیچشی در فنر رابطه ی مستقیم با گشتاور پیچشی حاصله دارد و برابر است با :

$$\tau = \frac{T \rho}{J}$$

که τ تنش برشی پیچشی، ρ فاصله از محور میله ی فنر، J گشتاور لختی قطبی سطح مقطع فنر می باشد.

با جاگذاری ρ با مقدار $d/2$ (قطر میله ی فنر) و J با مقدار $\pi d^4/32$ برای مقطع دایروی داریم:

$$\tau = \frac{8 F D}{\pi d^3}$$

برای هر ماده ی همگن همسانگرد میتوانیم رابطه ی بین تنش برشی و کرنش برشی به ازای مقادیری که از حد تناسب برش تجاوز نکند به این صورت نوشت : $\tau = G \cdot \gamma$

G را مدول صلابت یا ضریب ارتجاعی در فنر گویند و از رابطه مقابل قابل محاسبه است:

$$G = \frac{8 D^3 N F}{(x - x_0) d^4}$$

شرح عملی آزمایش:

ابتدا با استفاده از کولیس با اندازه گیری قطر داخلی و خارجی فنر قطر متوسط را محاسبه می کنیم:

$$D_m = (D_o + D_i) / 2$$

در ادامه، با استفاده از کولیس قطر میله ی فنر d و تعداد حلقه های فنر را از یک طرف شمرده و برابر n در نظر می گیریم. با استفاده از متر تعبیه شده بر روی پایه طول اولیه ی فنر را یادداشت میکنیم. حال با گذاشتن وزنه ها به ترتیب حداکثر تا ۸ کیلوگرم در هر مرحله تغییرات طول فنر را محاسبه و یادداشت می کنیم سپس وزنه ها را به ترتیب برداشته و تغییرات طول فنر در برگشت را نیز محاسبه می کنیم.

X_o (cm)	d (mm)	D_m (mm)	N

نتایج و محاسبات:

- نتایج حاصل از آزمایش را در جدول مربوط یادداشت کنید.
- ضریب ارتجاعی (مدول برشی) را برای کلیه بارها محاسبه نموده و میانگین آن ها را بدست آورید.
- تنش پیچشی را به برای بارها محاسبه کنید.
- دیاگرام نیرو-تغییر طول را با استفاده از نتایج آزمایش رسم کنید.
- ضریب فنریت را با استفاده از منحنی نیرو-تغییر طول برای تمامی بارها رسم نموده و میانگین آن را بدست آورید.
- منحنی نیرو-تغییر طول را به ازای کاهش بار رسم کنید.

در مورد نتایج و علل خطاهای حاصله بحث کنید.

ردیف	نیرو (F)	طول فنر (x)	تغییرات طول فنر (ΔL)	ضریب ارتجاعی (G)	تنش پیچشی فنر (τ)	ضریب فنریت (C)
-	[kgf]	[mm]	[mm]	[kg/mm ²]	[kg/mm ²]	[kg/mm]
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
میانگین نتایج						

منابع و مراجع:

References

1. Mechanics of engineering Materials P.P Benhain, RJ. Crawford & C.O Armstreng.
2. Materials Science and Engineering an introduction, William D. Collister, Jr.
3. Principles of Materials Science and Engineering Willian F Sinith.