

بسمه تعالی



دانشگاه شهید باهنر کرمان

بخش مکانیک بیو سیستم

درس نامه آزمایشگاه مقاومت مصالح

برای رشته مهندسی مکانیک بیو سیستم

استاد مربوطه :

جناب آقای دکتر مرتضی پور

گردآوری :

مهندس محمدحسین شجاعی

قوانین و مقررات آزمایشگاه مقاومت مصالح

آزمایش‌ها به صورت گروهی انجام می‌گیرد. حضور دانشجویان در ساعات آزمایشگاه الزامی است لذا در صورت عدم حضور دانشجو امکان انجام آزمایش وجود ندارد در این صورت نمره مربوط به حضور و آمادگی انجام آزمایش و گزارش آزمایشگاه کسر خواهد شد.

نمره آزمایشگاه به شرح زیر تقسیم می‌شود:

الف) حضور	۲ نمره
ب) گزارش کار آزمایشگاه	۶ نمره
ج) امتحان عملی	۶ نمره
د) امتحان تئوری	۶ نمره

توضیح در مورد گزارش آزمایشگاه

هر فرد بایستی گزارش کار خود را تهیه کند و در جلسه بعد به آزمایشگاه تحویل دهد. در صفحه اول هر گزارش (صفحه شناسایی) بایستی مشخصات کامل (نام آزمایش، نام و نام خانوادگی، تاریخ انجام آزمایش، تاریخ ارائه گزارش) ذکر گردد. گزارش کار بایستی موارد زیر را در برگیرد:

a) تئوری آزمایش (مقدمه)	b) هدف یا اهداف آزمایش	c) شرح آزمایش
d) نتایج آزمایش و جداول مربوطه	e) پردازش داده‌های آزمایشی به شکل مناسب، نتیجه‌گیری و قیاس	f) خطاهای آزمایش

تئوری آزمایش

در قسمت تئوری آزمایش هر گزارش کار بایستی تئوری‌های مربوط به آزمایش انجام شده آورده شود. این تئوری‌ها را می‌توان از کتاب‌های مقاومت مصالح یا کتاب‌هایی که مباحث مرتبط با آزمایش انجام شده را دارا می‌باشند استخراج نمود.

هدف از انجام آزمایش

در این بخش از گزارش کار بایستی هدف یا اهدافی که از انجام آزمایش موردنظر است ذکر شوند.

شرح آزمایش

شرح آزمایش بایستی شامل طریقه انجام آزمایش، وسایل مورد استفاده، شرح و شکل دستگاه مورد استفاده باشد.

نتایج آزمایش و جداول مربوطه

نتایج آزمایش بایستی به صورت جدول و یا نمودار مشخص شوند. در مواردی که نیاز به رسم نمودار است، نمودارها بایستی حتماً به وسیله یکی از نرم افزارهای کامپیوتری رسم نمودار، ترسیم شده باشند.

نتیجه گیری و قیاس نتایج

نتایج به دست آمده بایستی با تئوری های شناخته شده مقایسه شوند. روی نتایج به دست آمده بحث گردد و در مواردی که تئوری با نتایج آزمایشگاه تطابق ندارد علت عدم تطابق توضیح داده شود.

خطاهای آزمایش

در این قسمت کلیه مواردی که در موجب بروز خطا در نتایج آزمایش می شوند بایستی ذکر گردند و پس از بررسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

توضیح در مورد امتحان پایان ترم

امتحان تئوری پایان ترم شامل تئوری آزمایش ها، موارد ذکر شده در آزمایشگاه و نکات مندرج در درس نامه آزمایشگاه است.

در امتحان عملی آزمایشگاه از چگونگی انجام آزمایش ها و تئوری های ذکر شده در آزمایشگاه سؤال می شود. همچنین خواسته می شود که فرد به تنهایی آزمایشی را انجام دهد.

فهرست مطالب

۵.....	آزمون پیچش الاستیک
۹.....	آزمون ضربه
۱۵.....	آزمون کشش و فشار
۲۵.....	آزمون خمش
۲۹.....	آزمون خستگی
۳۲.....	آزمون سختی

آزمون پیچش الاستیک

مقدمه:

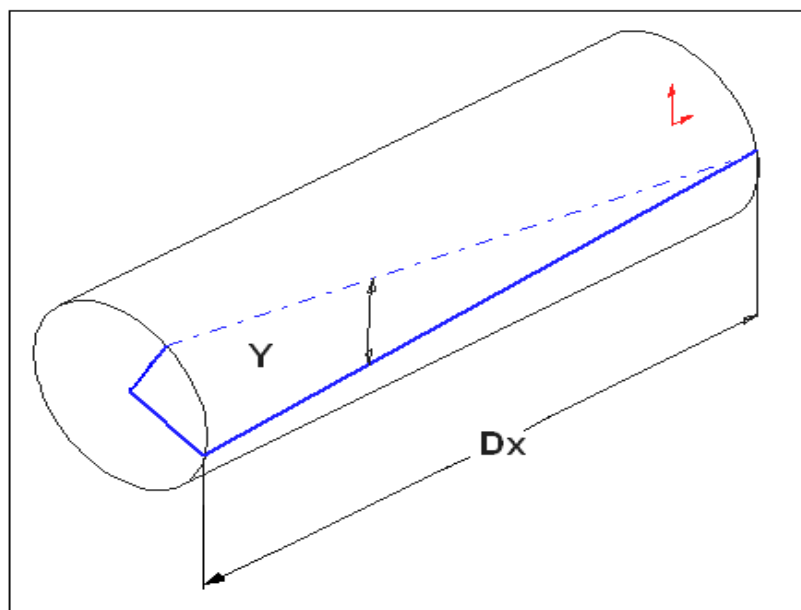
اجزاء تحت پیچش، کاربردهای فراوانی در مهندسی دارند. بیشترین استفاده را می‌توان مربوط به شافتهای انتقال قدرت دانست که برای انتقال قدرت از یک محل به محل دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال می‌توان به شافتهای واسط بین توربین‌ها و ژنراتورها و یا اکسل اتومبیل‌ها، یا در میل گاردان ماسینه-های کشاورزی متصل شده به PTO تراکتور اشاره نمود. این گونه مسائل را می‌توان در حالت استاتیکی مورد مطالعه قرارداد.

اگر میله‌ای را محکم در یک انتها ثابت کرده و انتهای دیگر را تحت یک ممان پیچشی قرار دهیم پیچش ساده در آن رخ می‌دهد. اثر این کوپل، ایجاد یک تغییر مکان زاویه‌ای در مقطع و یک تنش برشی روی مقطع میله که عمود بر محور آن است، می‌باشد.

برای یک میله با مقطع دایره‌ای که تحت ممان پیچشی T قرار دارد، مقدار تنش برشی در فاصله r از مرکز مقطع میله می‌شود:

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (1)$$

که J ممان قطبی مقطع است. مقدار تنش برشی از رابطه بالا از صفر شروع و با یک رابطه خطی نسبت به فاصله از مرکز افزایش می‌یابد تا اینکه در لایه خارجی شافت دایره‌ای به مقدار حداکثر خود می‌رسد. در شکل زیر زاویه γ بیانگر کرنش برشی در میله تحت پیچش است. نسبت تنش برشی τ به این مقدار تغییر شکل γ ، در محدوده الاستیک را ضریب الاستیسیته در برش (مدول برشی یا مدول صلابت) می‌گویند. و با G نشان می‌دهند. مدول برشی یکی از خواص مکانیکی مواد است و مقدار آن برای هر ماده در محدوده تغییر شکل الاستیک، ثابت می‌باشد.



$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (۲)$$

مقدار زاویه پیچش برای مقطع میله به طول L از رابطه زیر به دست می آید :

$$\varphi = \frac{TL}{GJ} \quad (۳)$$

که

$\varnothing$ = زاویه پیچش نسبی در مقطع ابتدا و انتهای طول L از میله

T = لنگر پیچشی وارد شده بر میله

G = مدول ارتجاعی برشی نمونه آزمایش

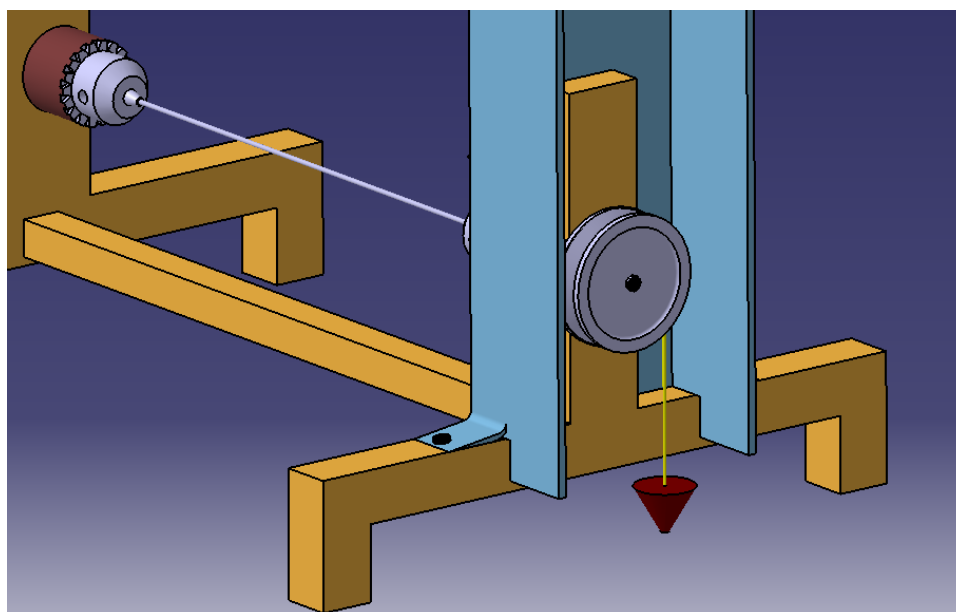
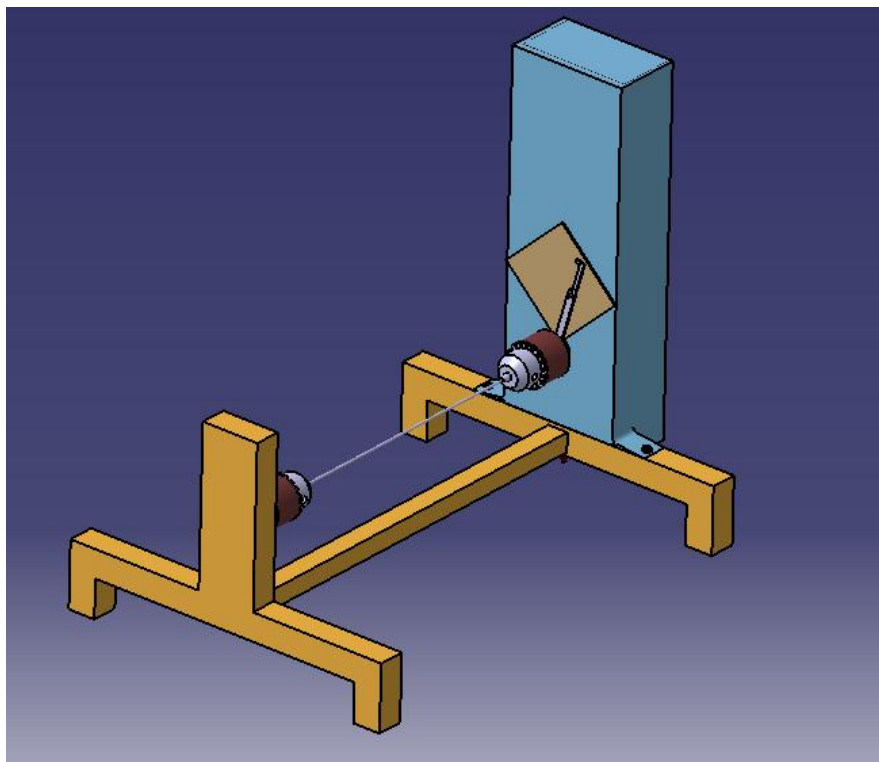
J = ممان اینرسی قطبی مقطع میله $\int dA \rho^2$ که برای مقطع گرد و به شعاع R برابر است با : $J = \frac{\pi R^4}{2}$

هدف آزمایش:

تعیین مدول صلابت دو میله آلومینیومی و برنجی

روش انجام آزمایش:

دستگاه تست پیچش الاستیک که در این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل زیر نمایش داده شده است.



روش کار:

مواد این آزمایش میله‌های برنجی و آلومینیومی، کولیس، متر، وزنه‌های مختلف و دستگاه تست پیچش الاستیک است و روش کار به صورت زیر می‌باشد.

- ۱- ابتدا با کولیس قطر میله‌ها رو به دست آورید
- ۲- ممان اینرسی قطبی را محاسبه کنید
- ۳- میله را در دستگاه گذاشته و به وسیله سه‌نظام آن را محکم کنید. در ادامه طول میله بین سه‌نظام را اندازه بگیرید.
- ۴- قطر مؤثر پولی را تعیین کنید
- ۵- بارهای مختلفی را به شاغول اعمال کرده و در هر بارگذاری، پیچش زاویه ای متناظر آن را اندازه بگیرید.
- ۶- مدول صلابت را طبق فرمول ۲ به دست آورید
- ۷- این آزمایش را برای میله دیگر تکرار کنید.

آزمون ضربه

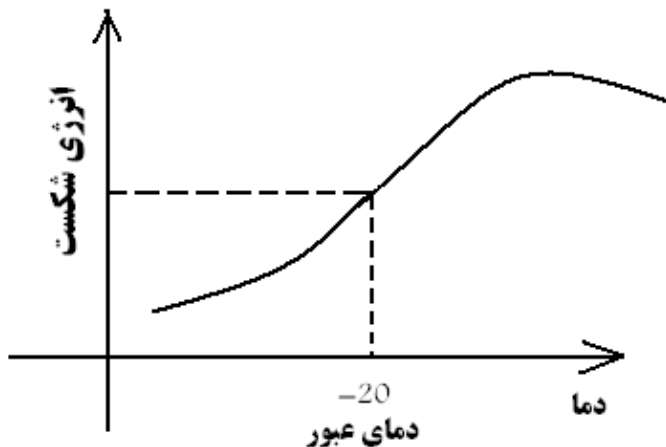
مقدمه:

ضربه به نیرویی گفته می‌شود که در مدت زمان کوتاهی به جسم وارد می‌گردد. ضربه یک بار استاتیکی نیست بلکه به صورت دینامیکی روی جسم اعمال می‌گردد. ضربه را می‌توان با انرژی پتانسیل فنر جمع شده، جک هیدرولیکی، انفجار و گلوله ایجاد کرد. به طور معمول، در آزمایش ضربه با استفاده از دستگاه آزمون ضربه و یک نمونه استاندارد، انرژی لازم برای شکست ماده مورد آزمون تحت تأثیر دما تعیین می‌گردد.

فلزات در مقابل ضربه عکس العمل نشان می‌دهند. فلزات سخت زود شکن یا ترد (**Brittle**) و فلزات نرم دیر شکن (**Ductile**) می‌باشند. می‌توان گفت خاصیت چکش‌خواری یک فلز بستگی مستقیم با مقدار انرژی لازم جهت شکستن آن دارد یعنی هرچه این انرژی بیشتر باشد فلز نرم‌تر و برعکس هر چه این انرژی کمتر باشد فلز سخت‌تر و تردتر است.

اثر دما بر ضربه :

در حالت تئوری برای فولاد، رابطه بین درجه حرارت و انرژی شکست به صورت نمودار زیر است. با توجه به این نمودار، با افزایش دما مقدار انرژی شکست بالا می‌رود و شکست از حالت ترد به نرم تغییر می‌یابد. دمای عبور نشان داده شده در شکل دمایی است که از آن به بعد شکست از ترد به نرم تغییر کرده است.



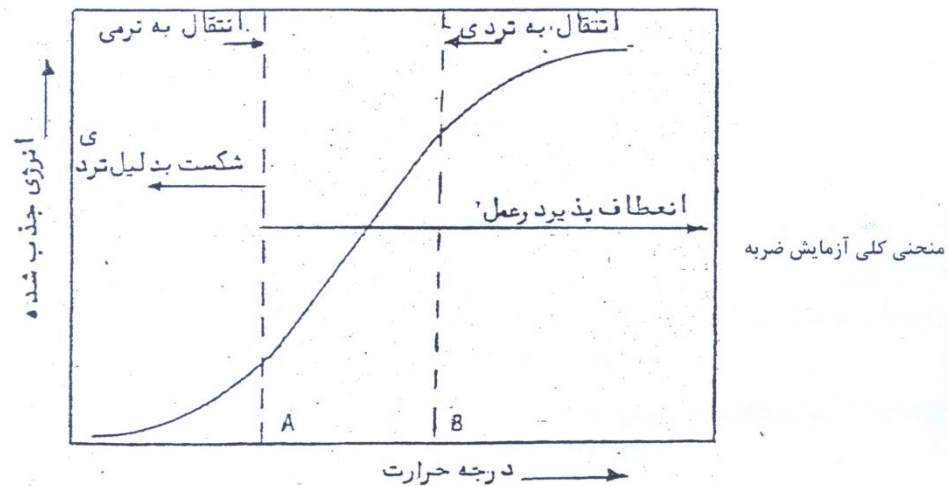
در اکثر موارد مخازن گاز مایع را از فولاد می‌سازند که دمای پایین گاز مایع سبب کاهش انرژی شکست آن می‌گردد برای رفع این مشکل دو راه حل وجود دارد:

۱- ترکیب فولاد با نیکل تا ۹٪ و اگر گاز تحت فشار

باشد تا ۳/۵٪ تا انرژی شکست بالا رود.

۲- گرم کردن فولاد که روش خطرناکی است، زیرا احتمال انفجار گاز وجود دارد.

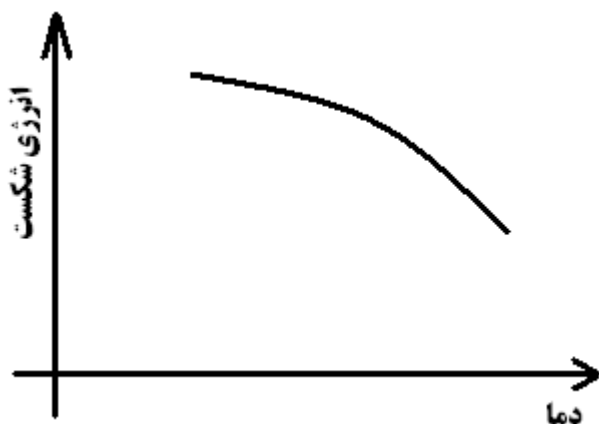
حالت کلی منحنی تغییر انرژی شکست با دما در شکل زیر نشان داده شده است.



در درجه حرارت‌های بالاتر از B، قطعه کاملاً نرم (Ductile) رفتار می‌کند. با کاهش درجه حرارت از B، انتقال به تردی (Brittleness) شروع می‌شود. هر چه درجه حرارت کمتر باشد، جسم تردتر شده و در درجه حرارت‌های پایین‌تر از A، قطعه کاملاً ترد و شکننده می‌شود و به هنگام استفاده در عمل به آسانی شکسته می‌شود. برعکس با افزایش درجه حرارت، در نقطه A انتقال از تردی به نرمی شروع شده و با زیاد شدن حرارت قطعه نرم و انعطاف‌پذیرتر می‌گردد تا در B که جسم کاملاً نرم رفتار می‌نماید و به همین دلیل در درجه حرارت‌های بالاتر از B احتمال شکست به دلیل تردی بسیار کمتر است.

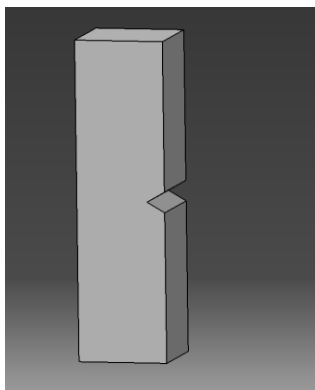
درجه حرارت انتقال (Transition Temperature) که بین A و B قرار دارد آن درجه حرارتی است که نمونه ترد می‌شود.

برای مواد دیگر همچون برنج، مس، آلومینیوم نمودار انرژی شکست برحسب دما برعکس است البته میزان تغییر انرژی شکست این مواد خیلی نیست



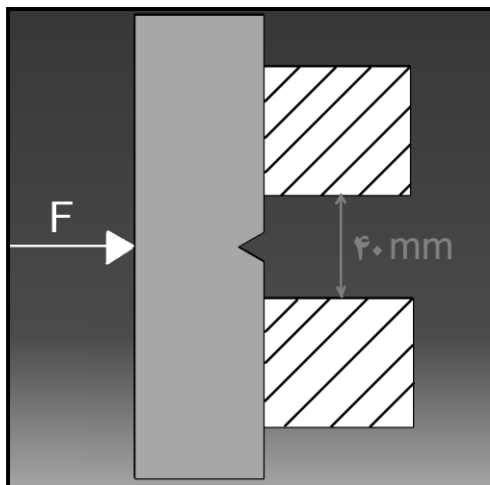
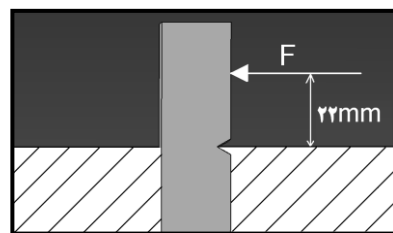
دستگاه تست ضربه:

اساس کار ماشین آزمایش ضربه، بر اساس انرژی شکست جسم بر اثر برخورد پاندول است. در این ماشین‌ها چکش با وزن معلوم فاصله معینی را تحت سقوط آزاد طی می‌کند تا وقتی به نمونه اصابت کرد دارای انرژی مشخصی باشد. معمول‌ترین دستگاه‌های تست ضربه از نوع پاندولی می‌باشند. در دستگاه چکش با سقوط آزاد به نمونه برخورد می‌نماید و وقتی به نمونه اصابت کرد و پس از شکستن نمونه به حرکت خود ادامه می‌دهد و مقدار انرژی جذب‌شده توسط عقربه نشان داده می‌شود. که این مقدار انرژی از تفاضل انرژی اولیه و انرژی باقیمانده در چکش می‌باشد. نمونه‌های این آزمایش با مقطع مربع به اضلاع ۱۰ میلی‌متر و یا با مقطع دایره‌ای به قطر ۰/۴۵ اینچ می‌باشند که نوع اول آن معمول‌تر است. در نمونه‌های مربعی شیار با زاویه ۴۵ درجه و به عمق ۲ میلی‌متر و در نمونه‌های دایره‌ای شیار با همان زاویه و به عمق ۰/۱۳ اینچ در نمونه تعبیه شده است. و ضربه به سمتی که شیار وجود دارد وارد می‌شود. نمونه ایزود به صورت عمودی در گیره قرار می‌گیرد و محکم می‌شود.



قطعه مورد آزمایش از جنس ماده مورد نظر و به صورت مکعب مستطیل است که یک شیار روی آن قرار دارد. این نمونه در محل مخصوص قرار می‌گیرد و آونگی که با افق زاویه دارد رها شده و با آن برخورد می‌کند و نمونه را می‌شکند. در صورتی که نمونه نشکند آزمایش مورد قبول نیست. این آزمایش به دو صورت انجام می‌شود :

- ۱- آزمون ایزود (*Izod*) : نمونه مورد نظر را در محلی ثابت کرده و ضربه از سمت شیار و به فاصله ۲۲ میلی‌متر از شیار به نمونه وارد می‌شود. در این حالت نمونه مانند تیر یکسر گیردار است .



- ۲- آزمون شاریپی (*Charpy*) : در این روش نمونه روی یک تیکه گاه مانند شکل که یک فاصله ۴۰ میلی‌متری بین آن وجود دارد قرار می‌گیرد و

نیرو موردنیاز برای شکست از پشت شیار به آن وارد می‌گردد .

این روش در سال ۱۹۰۹ ابداع گردید. در این آزمایش نمونه به حالتی افقی بین دو تکیه‌گاه قرار می‌گیرد و شیار آن که اغلب U شکل است در وسط نمونه قرار دارد و ضربه به پشت نمونه وارد می‌شود. نمونه آزمایش به صورت مربعی به اضلاع ۱۰ میلی‌متر می‌باشد و طول نمونه ۵۵ میلی‌متر می‌باشد که طول قسمت مؤثر آن ۴۰ میلی‌متر می‌باشد (فاصله بین تکیه‌گاه‌ها در دستگاه) که در وسط آن شیاری به عرض و عمق ۲ میلی‌متر موجود می‌باشد.

نکته مهم این است اگر آونگ در هر یک از دو آزمایش نمونه را خم کند ولی نشکند نتیجه آن موردقبول نیست.

با برخورد چکش، مقداری از انرژی آن جذب گردیده و نمونه از محل شکاف شکسته می‌شود. در نتیجه چکش تا محل اولیه برخورد بالا نرفته بلکه و در ارتفاع کمتری متوقف می‌شود. انرژی جذب شده در حین برخورد (E) برابر با تفاضل انرژی پتانسیل پاندول در شروع و پایان آزمایش است.

$$E = K - T = \text{انرژی جذب شده یا انرژی ضربه}$$

برای یک محاسبه دقیق‌تر بهتر است که انرژی‌ای که صرف اصطکاک و مقاومت هوا می‌شود نیز در نظر گرفته شود.

اکنون با داشتن دو مقدار K و T می‌توانید طبق روابط فوق‌الذکر ($E = K - T$) مقدار انرژی‌ای که صرف شکستن قطعه شده است را محاسبه نمایید.

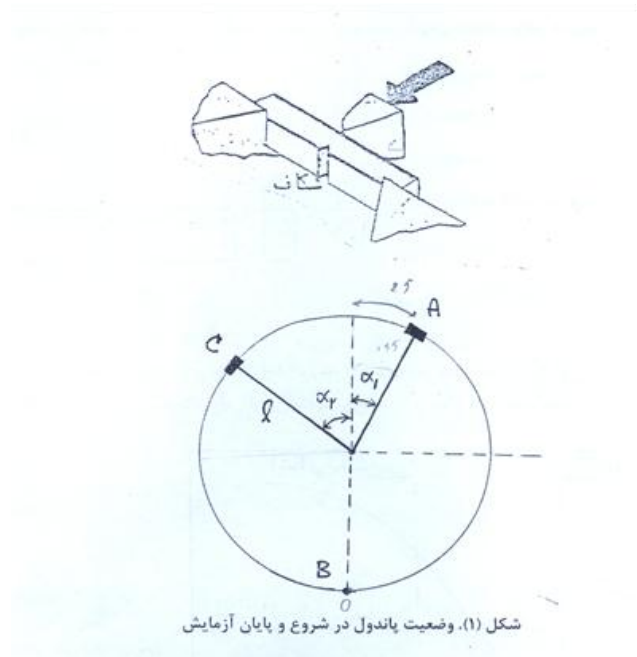
انرژی پتانسیل میله + انرژی پتانسیل چکش = انرژی پتانسیل در شروع آزمایش = K

$$K = m_h \times g(l + l \cos \alpha_1) + m_l \times g(l + \frac{l}{2} \cos \alpha_1)$$

انرژی پتانسیل میله + انرژی پتانسیل چکش = انرژی پتانسیل در انتهای آزمایش = T

$$T = m_h \times g(l + l \cos \alpha_2) + m_l \times g(l + \frac{l}{2} \cos \alpha_2)$$

دقت شود که α_1 و α_2 میزان انحراف از حالت عمودی است. مقدار α_1 و α_2 در ابتدا و انتهای آزمایش از روی دستگاه مشخص می‌شود. در صورتی که مانعی بر سر راه پاندول نباشد α_1 و α_2 تقریباً برابرند ولی در این آزمایش بخشی از انرژی صرف شکستن قطعه می‌شود.



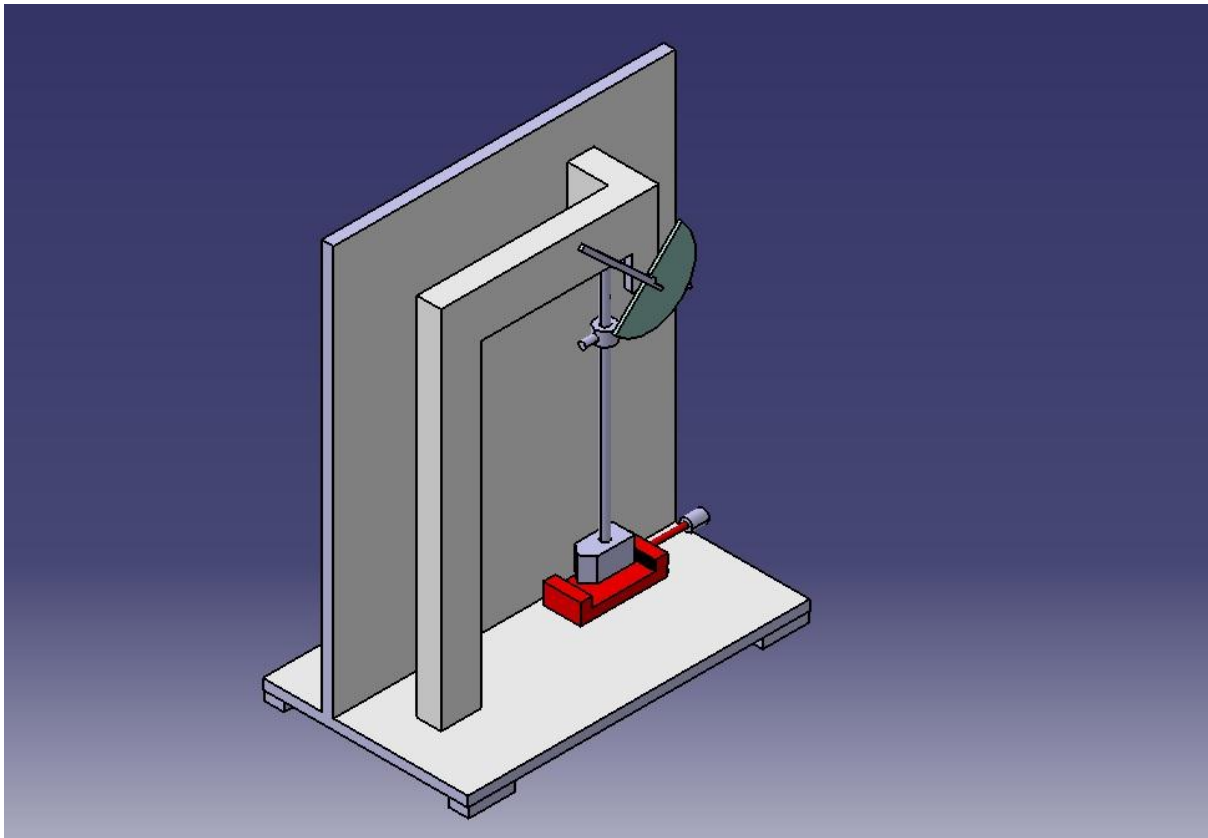
هدف آزمایش :

به دست آوردن انرژی شکست در آزمون ضربه

روش انجام آزمایش :

مشخصات دستگاه :

دستگاهی که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته



روش کار :

ماده این آزمایش نمونه‌های چوبی است و این آزمایش دو بار انجام می‌شود که در مرحله اول آزمون ضربه آیزود با چکش مربوطه و در مرحله بعد آزمون ضربه شاری با چکش مربوطه انجام می‌شود روش کار به صورت زیر است

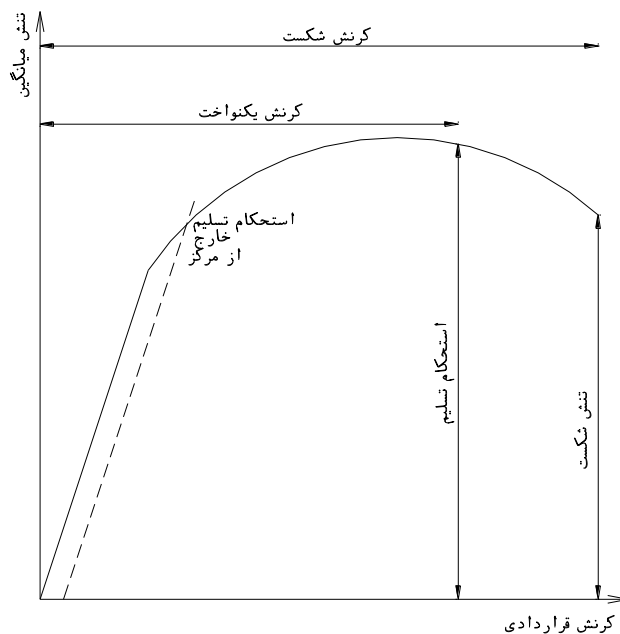
- ۱- طول میله را اندازه گرفته و مرکز جرم میله را در وسطش تصور کنید
- ۲- مرکز جرم چکش‌ها به صورت تقریبی را به دست آورده و فاصله آن را تا محل اتصال میله به لولا را اندازه‌گیری نمایید
- ۳- بدون گذاشتن نمونه میله نوسانی و چکش متصل به آن را رها کرده تا مقدار زاویه α_1 و α_2 به دست آورید
- ۴- بر این اساس تلفات دستگاه را حساب می‌کنید
- ۵- نمونه را درون دستگاه گذاشته و آزمایش را انجام داده تا مقدار زاویه α_1 و α_2 را به دست آورید
- ۶- تمام این مراحل را برای هر دو آزمون (ایزود و شاری) انجام دهید

آزمون کشش و فشار

مقدمه:

منحنی تنش-کرنش مهندسی

آزمایش کشش مهندس برای نشان دادن اطلاعات اساسی درباره استحکام مواد و به عنوان آزمایشی برای پذیرش خصوصیات ماده کاربرد زیادی دارد. در آزمایش کشش، نمونه تحت نیروی کشش یک‌بعدی که به‌طور پیوسته زیاد می‌شود قرار دارد. و این در حالی است که ازدیاد طول نیز به‌طور همزمان مشاهده می‌شود. تنش-کرنش مهندسی بر اساس مقادیر بار وارده-ازدیاد طول بنا می‌شود.



منحنی تنش کرنش مهندسی

تنش طولی میانگین از تقسیم بار بر سطح مقطع اولیه به دست می‌آید

$$s = \frac{P}{A_0}$$

کرنش مورد استفاده در منحنی تنش-کرنش مهندسی، کرنش خطی میانگین است که از تقسیم ازدیاد طول

مربوط به طول سنجه نمونه، δ ، بر طول اولیه آن به دست می‌آید:

$$e = \frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

چون هم تنش و هم کرنش از تقسیم بار و ازدیاد طول بر عوامل ثابتی به دست می‌آیند، منحنی بار ازدیاد طول نیز دارای شکلی مانند منحنی تنش-کرنش مهندسی است. هر دو منحنی معمولاً به‌طور قابل تبدیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل و مقدار منحنی تنش-کرنش یک فلز به ترکیب شیمیایی، عملیات حرارتی، تاریخچه قبلی تغییر شکل مومسان و آهنگ کرنش، دما و حالت تنش وارده هنگام آزمایش بستگی دارد. استحکام کششی، استحکام تسلیم، درصد ازدیاد طول و کاهش سطح مقطع پارامترهایی هستند که در تشریح منحنی تنش-کرنش هر فلز به کار می‌روند. دو پارامتر اول معرف استحکام و دوتای بعدی معرف نرمی‌اند.

شکل منحنی تنش-کرنش مهندسی به توضیح بیشتر نیاز دارد. در ناحیه کشسان، تنش با کرنش رابطه خطی دارد. هنگامی که مقدار بار از استحکام تسلیم تجاوز کند، در نمونه تغییر شکل مومسان ناخالص به وجود می‌آید. اگر بار برداشته شود و میزان آن به صفر برسد تغییر شکل به وجود آمده دائمی است. تنش لازم برای تولید تغییر شکل مومسان پیوسته با زیاد شدن کرنش مومسان زیاد می‌شود، یعنی فلز کار سخت می‌شود. حجم نمونه حین تغییر شکل مومسان ثابت می‌ماند، $AL = A_0L_0$ ، و با زیاد شدن طول نمونه به‌طور یکنواخت در امتداد طول سنج، سطح مقطع کم می‌شود. در ابتدا کار سختی بیش از مقداری است که کاهش سطح مقطع را جبران می‌کند و تنش مهندسی (متناسب با بار P) زیاد شدن کرنش زیاد می‌شود. ناگهان، نقطه‌ای می‌رسد که کاهش سطح مقطع بیشتر از افزایش بار تغییر ناشی از کار سختی است. این شرایط ابتدا در نقطه ضعیف‌تر نمونه به وجود می‌آید. تغییر شکل مومسان عمدتاً در این ناحیه متمرکز می‌شود و نمونه شروع به گلویی و باریک شدن موضعی می‌کند. اکنون چون مساحت مقطع نسبت به ازدیاد بار تغییر شکل در اثر کار سختی، با سرعت بیشتری کم می‌شود، بار حقیقی لازم برای ایجاد تغییر شکل در نمونه افت کرده و تنش مهندسی نیز طبق معادله زیر همچنان تا وقوع شکست به کم شدن خود ادامه می‌دهد.

$$s = \frac{P}{A_0}$$

استحکام کششی

استحکام کششی یا استحکام نهایی کشش (UTS)، برابر با بار حداکثر نیرو تقسیم بر سطح مقطع اولیه نمونه است

$$S_u = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

سال‌های زیاد رسم بر این بود که استحکام قطعات را همان استحکام کششی در نظر بگیرند که در ضریب اطمینانی ضرب شده باشد. شیوه برخورد منطقی‌تر دیگری برای طراحی ایستایی فلزات نرم بر مبنای استحکام تسلیم است. به‌هرحال، به دلیل تجربه طولانی در استفاده از استحکام کششی برای تعیین استحکام مواد این استحکام خصیصه‌ای آشکار بوده و مشخصه بسیار مفید ماده است که مانند ترکیب شیمیایی برای تعیین مشخصات فلز یا آلیاژ عمل می‌کند. علاوه بر این، چون تعیین استحکام کششی، ساده و قابل تکرار است، برای مقاصدی چون شناخت خصوصیات و کنترل کیفیت محصول مفید می‌باشد. روابط تجربی به‌دست‌آمده بین استحکام کششی و سختی، روابط بسیار مفیدی‌اند. در مواد ترد، معیار بالارزشی برای طراحی است.

مقادیر تسلیم

تنشی که در آن تسلیم یا شروع تغییر شکل موم‌سان مشاهده می‌شود به حساسیت اندازه کرنش بستگی دارد. در بیشتر مواد انتقال از رفتار کشسان به موم‌سان تدریجی است و تعیین دقیق نقطه شروع تغییر شکل موم‌سان مشکل است. معیارهای مختلف شروع تسلیم با توجه به حساسیت مقادیر کرنش و استفاده مناسب از داده‌ها به‌کاربرده می‌شود.

۱. حد کشسان حقیقی بر مبنای مقادیر ریز کرنشی به مقدار $2 \times 10^{-4} \text{ in/in}$. مقدار این کشسان خیلی کوچک و در اثر حرکت چند صد نابجایی است.

۲. حد تناسب بزرگتری مقدار تنشی است که مستقیماً با کرنش متناسب است. این تنش با مشاهده انحراف از قسمت خط مستقیم در منحنی تنش کرنش به دست می‌آید.

۳. حد کشسان بزرگ‌ترین تنشی است که ماده می‌تواند در آن پایدار باشد، بدون اینکه پس از رها شدن کامل بار، هیچ‌گونه کرنش دائمی قابل‌اندازه‌گیری در آن باقی‌مانده باشد. با زیاد شدن حساسیت کرنش، مقدار حد کشسان کم می‌شود تا جایی که با حد کشسان حقیقی به دست آمده از مقادیر ریز کرنش مساوی شود. در حساسیت کرنشی که معمولاً در مطالعات مهندسی به کار گرفته می‌شود (10^{-4} in/in) حد کشسان از حد تناسب بیشتر است.

۴. استحکام تسلیم تنش لازم برای ایجاد مقداری تغییر شکل موم‌سان کوچک و معین است. تعریف متداول این خاصیت، استحکام تسلیم خارج از مرکز است که با تنش واقع در نقطه تقاطع منحنی تنش-کرنش و خط موازی با بخش کشسان منحنی در یک کرنش معین تعیین می‌شود (منحنی تنش-کرنش مهندسی). در آمریکا معمولاً این استحکام با کرنش خارج از مرکزی به مقدار 0.1 یا 0.2 درصد ($e = 0.002 \text{ or } 0.001$) مشخص می‌شود.

$$S_o = \frac{P_{(0.02)}}{A_o}$$

روش مناسب به دست آوردن استحکام تسلیم خارج از مرکز به این صورت است نمونه پس از بارگذاری تا 0.2 درصد استحکام تسلیم خارج از مرکز خود، و سپس باربرداری، نسبت به قبل از آزمایش 0.2 درصد طول‌تر شود. استحکام در خارج از مرکز در بریتانیا، اغلب تنش آزمایش نامیده می‌شود که مقادیر خارج از مرکز در آن 0.1 یا 0.5 درصد است. استحکام تسلیم به دست آمده از روش خارج از مرکز معمولاً در طراحی و مشخص کردن خواص ماده استفاده می‌شود، چون این روش فاقد مشکلات عملی موجود در اندازه‌گیری حد کشسان یا حد نسبی است.

در منحنی تنش-کرنش بعضی از مواد بخش خطی وجود ندارد، مثلاً مس نرم یا چدن خاکستری از آن جمله‌اند. برای این مواد روش خارج از مرکز به کار نمی‌رود و به‌طور متداول، استحکام تسلیم با محاسبه تنش مولد کرنش کل، مثلاً $\varepsilon = 0.005$ ، تعیین می‌شود.

مقادیر نرمی

تاکنون دریافته‌ایم که نرمی یک خاصیت ذاتی و کیفی ماده است. به‌طور کلی مقادیر نرمی از سه جنبه دارای اهمیت‌اند:

۱. برای نشان دادن حدی که در آن فلز می‌تواند، بدون اینکه در اثر عملیات فلزکاری مانند نورد و فشار کاری بشکند، تغییر شکل می‌دهد.

۲. نرمی زیاد نشان می‌دهد که ماده «متحمل» بوده و احتمالاً بدون شکست تغییر شکل موضعی می‌دهد، که این امر می‌تواند باعث اشتباه طراح در محاسبه تنش یا پیچش بارهای خطرناک شود.

۳. عمل کردن به‌عنوان معرف تغییرات در میزان شرایط ناخالصی یا شرایط فرایند. مقدار نرمی می‌تواند معیاری برای «کیفیت» فلز به حساب آید، حتی اگر بین مقدار نرمی و عملکرد آن هیچ رابطه مستقیمی موجود نباشد.

مقادیر نرمی به‌دست‌آمده از آزمایش کشش، یکی کرنش مهندسی در شکست ε_f (که معمولاً به ازدیاد طول موسوم است) و دیگری کاهش سطح مقطع در شکست، q است. هر دو خاصیت پس از شکست با قرار دادن قطعات نمونه در کنار هم و اندازه‌گیری مقادیر L_f و A_f به دست می‌آیند

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

$$q = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

معمولاً هم ازدیاد طول و هم کاهش سطح به درصد بیان می‌شوند.

چون بخش عمده‌ای از تغییر شکل مومسان در ناحیه گلوبی نمونه کشش متمرکز است، مقادیر e_f به سنجه طول L_0 مقادیر بر اساس آن اندازه‌گیری شده‌اند بستگی دارد. هر چه طول سنجه کوچک‌تر باشد، سهم ازدیاد طول کل از ناحیه گلوبی بیشتر خواهد بود و مقدار e_f نیز بیشتر است. بنابراین هنگام گزارش مقادیر درصد ازدیاد طول همیشه طول سنجه L_0 نیز باید داده شود.

کاهش سطح با این مشکل مواجه نیست. مقادیر کاهش سطح به ازدیاد طول سنجه صفر، ε_0 قابل تبدیل است. از رابطه ثابت بودن حجم در تغییر شکل مومسان $AL=A_0L_0$

رابطه زیر به دست می‌آید

$$\frac{L}{L_0} = \frac{A}{A_0} = \frac{1}{1-q}$$

$$e_o = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{A}{A_0} - 1 = \frac{1}{1-q} - 1 = \frac{q}{1-q}$$

این رابطه ازدیاد طول را بر مبنای سنجه بسیار کوتاهی نزدیک شکست نشان می‌دهد.

یک‌راه دیگر برای اجتناب از پیچیدگی حاصل از گلوبی، قرار دادن درصد ازدیاد طول بر مبنای کرنش یکنواخت، تا نقطه شروع گلوبی است. از ازدیاد طول یکنواخت e_u کاملاً با عملیات شکل دادن کششی مرتبط است. چون منحنی تنش-کرنش مهندسی غالباً در ناحیه مجاور گلوبی کاملاً صاف است، ممکن است به دست آوردن کرنش دربار حداکثر آن‌هم بدون بروز ابهام مشکل باشد. در این مورد روش پیشنهادی توسط نلسون و ویلانک مفید است.

مدول کشسانی

شیب قسمت خطی اولیه منحنی تنش-کرنش، مدول کشسان یا مدول یانگ نامیده می‌شود. مدول کشسانی معیار سنتی ماده است. هر چه این مدول بزرگ‌تر باشد، کرنش کشسان ناشی از اعمال یک تنش

معین کمتر است. چون مدول کشسانی برای محاسبه خمیدگی تیرها و سایر اجزا لازم است، لذا در طراحی اندازه مهمی است.

مدول کشسان توسط نیروهای اتصال بین اتمها تعیین می‌شود. چون ای نیروها نمی‌توانند بدون تغییر ماهیت اصلی ماده تغییر کنند، در نتیجه مدول کشسان یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی حساس به ساختار است. اضافات آلیاژی، عملیات حرارتی، یا کار سرد تأثیر کمی بر این مدول دارد. باین‌حال، افزایش دما مدول کشسانی را کاهش می‌دهد. معمولاً در دمای بالا مدول توسط یک روش دینامیکی اندازه‌گیری می‌شود.

تنش حقیقی دربار حداکثر

تنش حقیقی دربار حداکثر متناظر با استحکام کششی حقیقی است. در بیشتر مواد گلویی شدن دربار حداکثر و در مقدار کرنشی که در آن تنش حقیقی مساوی شیب منحنی جریان است، شروع می‌شود. σ_u و ϵ_u معرف تنش حقیقی و کرنش حقیقی دربار حداکثر هستند هنگامی که سطح مقطع نمونه A_u است. استحکام نهایی کششی که از رابطه زیر به دست می‌آید

$$S_u = \frac{P_{\max}}{A_o}$$

و

$$\sigma_u = \frac{P_{\max}}{A_u}$$

$$\epsilon_u = \ln \frac{A_o}{A_u}$$

با حذف $P_{\max}$ رابطه زیر به دست می‌آید

$$\sigma_u = S_u \frac{A_o}{A_u}$$

و

$$\sigma_u = S_u e^{\varepsilon_u}$$

تنش حقیقی شکست

تنش حقیقی شکست مقدار بار در شکست تقسیم بر سطح مقطع در لحظه شکست است. این تنش باید برای حالت تنش سه بعدی موجود در نمونه کشش هنگام شکست تصحیح شود. چون اطلاعات مورد نیاز برای انجام تصحیح اغلب در دسترس نیستند، مقادیر تنش حقیقی شکست غالباً با خطا همراه اند.

کرنش حقیقی شکست

کرنش حقیقی شکست ε_f ، عبارت است از کرنش حقیقی بر مبنای سطح اولیه A_0 و سطح بعد از شکست A_f

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f}$$

این پارامتر، کرنش حقیقی حداکثری را که ماده قبل از شکست تحمل می کند نشان داده، و مشابه کرنش کل شکست در منحنی تنش-کرنش مهندسی است. چون معادله

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

پس از شروع گلویی معتبر نیست، امکان محاسبه ε_f بر حسب مقادیر اندازه گیری شده e_f وجود ندارد. اما، کاهش سطح مقطع q در نمونه های کششی استوانه ای طبق رابطه زیر با کرنش حقیقی شکست رابطه دارد

$$\varepsilon_f = \ln \frac{1}{1-q}$$

کرنش حقیقی یکنواخت

کرنش حقیقی یکنواخت، ε_u ، کرنش حقیقی بر مبنای فقط کرنش تا بار حداکثر است. این کرنش هم توسط سطح مقطع نمونه A_u و هم طول سنج L_u دربار حداکثر

محاسبه می‌شود. برای تبدیل کرنش قراردادی یکنواخت به کرنش حقیقی یکنواخت می‌توان از معادله

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

استفاده کرد. کرنش یکنواخت حاصل از نتایج آزمایش کشش، اغلب برای تخمین قابلیت شکل‌پذیری فلزات مفید است

$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_o}{A_u}$$

اهداف آزمایش :

- ۱- تعیین مقدار مقاومت کشش
- ۲- به دست آوردن نقطه تسلیم و شکست
- ۳- تحلیل نمودار تنش - کرنش

روش انجام آزمایش :



روش کار :

- ۱- فک‌های دستگاه را باز کرده
- ۲- نمونه را بین دو فک گذاشته و فاصله دو فک را اندازه‌گیری نمایید
- ۳- داده‌ها را درون نرم‌افزار وارد کرده و آزمون فشار را انجام می‌دهید

آزمون خمش

مقدمه :

تیرها معمولاً عنصرهایی بلند، راست و منشوری هستند. تیرهای فولادی و آلومینیومی نقش مهمی را در مهندسی سازه و مکانیک بر عهده دارند. در بیشتر موارد بارها بر محور تیر عمودند و بارگذاری عرضی تنها باعث خمش و برش در تیر می شود.

تیری را که در دو انتهای خود تحت تأثیر و لنگر خمشی مساوی، مختلف‌الجهت و هم صفحه قرار دارد؛ می گویند که در خمش خالص است. لازم به ذکر است که خمش ایجاد تنش محوری می کند و پیچش ایجاد تنش برشی می کند.

با آزمایش ساده‌ای می توان خمش در یک تیر را مشاهده کرد. اگر یک تیر از جنس اسفنج را بر روی دو تکیه‌گاه قرار دهیم و وسط آن را با دست فشار دهیم، خواهیم دید که سوراخ‌ها در بالای اسفنج بسته می شوند که نشان‌دهنده فشار در بالای اسفنج است. و همچنین خواهیم دید که سوراخ‌ها در پایین اسفنج باز می شوند که نشان‌دهنده کشش در پایین اسفنج است. سوراخ‌ها در نزدیکی دو تکیه‌گاه تقریباً بدون تغییر باقی می ماندند چون لنگر خمشی در آنجا نسبت به وسط اسفنج کوچک‌تر است.

فرضیات خمش: ۱- صفحات عمود بر محور، بعد از اعمال خمش به صورت صفحه باقی می ماندند و تنها حول یک محور دوران می کنند. ۲- تغییر شکل‌ها دارای تغییرات خطی نسبت به محور دوران هستند. ۳- رفتار مصالح در کشش و فشار یکسان است. ۴- فرض می شود که بارگذاری تیر به صورت تدریجی انجام شده است و هیچ ضربه‌ای در زمان بارگذاری به تیر وارد نشده است.

در یک تیر تحت خمش، تغییرات کرنش موجود در تارهای طولی موازی صفحه خنثی به صورت خطی است و یا به عبارت دیگر، مقدار کرنش تارهای فوق متناسب بافاصله آن‌ها از محور خنثی است. تارهای بدون تنش و کرنش به طور پیوسته در تمام طول و پهنای تیر وجود دارند. این تارها بر روی صفحه‌ای قرار دارند که «سطح خنثی تیر» نامیده می شود. فصل مشترک این صفحه با یک مقطع عرض قائم بر تیر «محور خنثی» نامیده می شود. فاصله مرکز هندسی سطح مقطع و محور خنثی صفر است یا به عبارت دیگر محور اصلی خنثی از مرکز هندسی سطح مقطع تیر عبور می کند. برای تعیین محور خنثی و تنش‌های داخلی از شرایط تعادل استفاده می کنیم.

زمانی که بر روی یک تیر ساده با مقطع مستطیلی (عمود بر محور تیر) نیرو اعمال می‌کنیم محور تیر از حالت افقی به حالت منحنی درمی‌آید میزان این انحراف از حالت افقی را خیز تیر می‌گویند میزان این تغییر شکل به پارامترهای زیادی چون طول تیر، میزان نیروی

F سطح مقطع تیر، جنس تیر و بستگی دارد

چنانچه به صورت ساده میزان انحراف بخواهیم حساب کنیم به صورت زیر عمل کنیم

اگر در هنگام بارگذاری تغییر مکان‌های کوچک و زاویه چرخش کوچک در انحنا می‌توانیم

$\cos \theta \approx 1$ فرض کرد پس بیا به شکل می‌توان در نظر گرفت. $ds = dx$ که با توجه به

(چون زاویه را کوچک در نظر گرفتیم) $\tan \theta \approx \theta = d\delta/dx$ ، $k = d\theta/dx$ ، $1/p = k$

$\rightarrow d\theta/dx = d^2\delta/dx^2 \rightarrow k = d^2\delta/dx^2$ از بالا نتیجه می‌شود

از قانون هوک نتیجه داریم $M = f \cdot x$ & $k = M/EI$ $f \cdot x/EI = d^2$

$\rightarrow d^2\delta/dx^2 = M/EI \rightarrow \delta/dx^2 \rightarrow \int \int \rightarrow \delta = f \cdot x^3/(6 \cdot E \cdot I)$

$\rightarrow X = d/2 \rightarrow \delta = f \cdot d^3/(48 \cdot E \cdot I)$ ،

با توجه به رابطه بالا نتیجه می‌شود در آزمایش بتوانیم میزان انحراف را به واسطه نیروی مشخص

طبق $E = f \cdot d^3/(48 \delta \cdot I)$ داشته باشیم می‌توانیم ضریب ارتجاعی را برای تیر به دست بیاوریم

فرمول زیر

I : گشتاور سطح با توجه به هندسه سطح مقطع تیر تعیین می‌شود

برای مقطع مستطیلی $I = b \cdot h^3/12$

برای مقطع دایره‌ای $I = \pi \cdot d^4/64$

برای مقطع مستطیلی $W_b = b \cdot h^2/6$

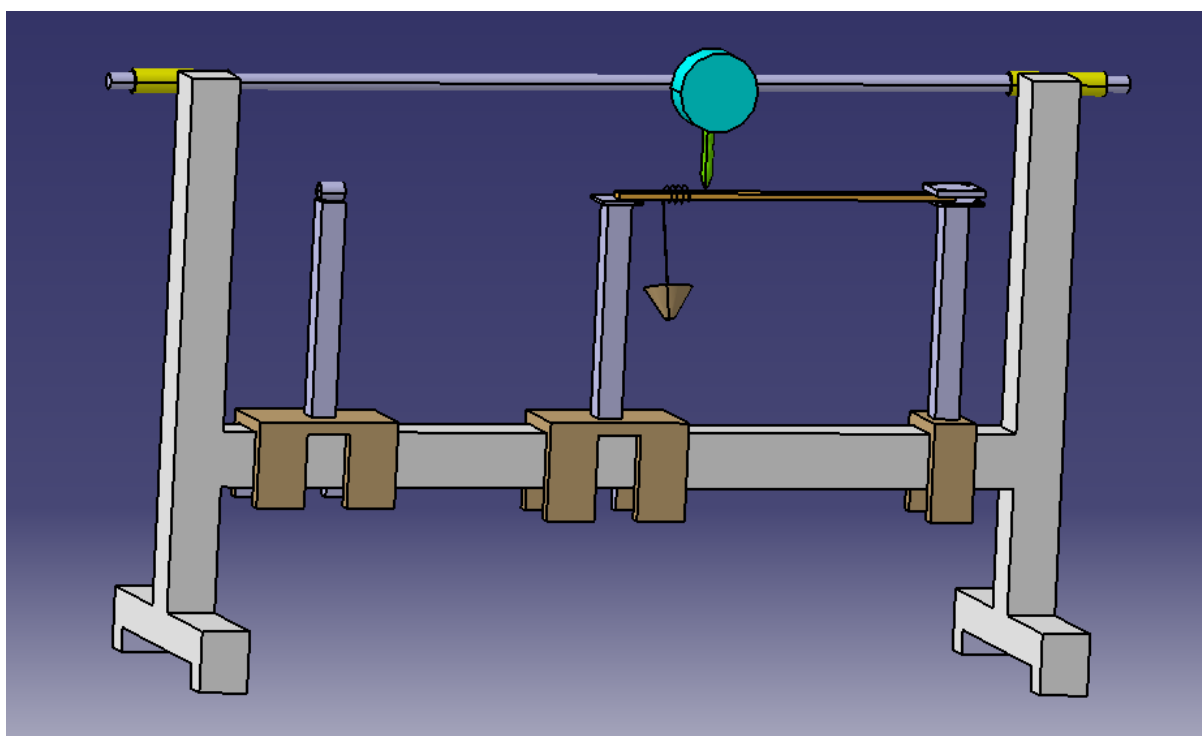
$Wb = n.d^3/32$ برای مقطع دایره‌ای

اهداف آزمایش:

- ۱- به دست آوردن مدول الاستیسیته تیر
- ۲- محاسبه خطا در انجام آزمایش در قسمت دوم

روش انجام آزمایش:

دستگاهی که در این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد



روش کار

این آزمایش شامل دو قسمت است

الف) برای به دست آوردن مدول الاستیسیته مراحل زیر را انجام می‌دهید

- ۱- تیر را به صورت یکسر گیردار بندید
- ۲- طول تیر را اندازه گرفته
- ۳- ابعاد مقطع تیر را اندازه بگیرید
- ۴- در انتهای تیر شروع به بارگذاری کرده و تغییر شکل (جابجایی) را به ازای هر بار اندازه‌گیری نمایید

۵- از رابطه $y = -\frac{pl^3}{3EI}$ مدول را محاسبه می کنید

۶- میانگین مدول ها را به عنوان مدول الاسیسیته در قسمت بعدی آزمایش قرار دهید

ب (محاسبه خطا در این قسمت مراحل زیر را انجام دهید

۱- تیر را به صورت عادی یا دوسرگیردار ببندید

۲- طول تیر را اندازه گرفته

۳- فاصله X را برای به دست آوردن خیز در آن نقطه اندازه گرفته

۴- خیز را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کنید

۵- بارگذاری را انجام داده و خیز تیر که توسط دستگاه نشان داده شده را یادداشت نمایید

۶- خیز را توسط رابطه زیر محاسبه کرده و باهم مقایسه کنید

۷- خطا را توسط رابطه MBE به دست آورید

$$Y = \frac{p\{x^3 - (l^2 - b^2)x\}}{6EIL}$$

آزمون خستگی

مقدمه :

شکست تحت بار متناوب پدیده‌ای است که در برخی قطعات مکانیکی رخ می‌دهد. و معمولاً در نقاط ناپیوسته‌ای از ماد و دارای حداکثر تنش با ترک کوچکی شروع می‌شود و گسترش می‌یابد. و با گسترش اثر تمرکز تنش افزایش می‌یابد تا سرانجام ناحیه باقیمانده گسیخته شود. بنابراین گسیختگی خستگی توسط دو ناحیه متمایز مشخص می‌شود ناحیه اول که ناشی از پیشرفت ترک است و ناحیه دوم که ناشی از شکست است.

در مواقعی که نیرو به دفعات زیاد بر روی سازه‌ای اعمال و از روی آن برداشته می‌شود، مصالح نمی‌توانند به اندازه تنش حد نهایی به دست آمده در آزمایش ایستا مقاومت داشته باشند. در این حالات مقاومت نهایی بستگی به تعداد دفعات اعمال نیرو و تنش مؤثر بر مصالح در هنگام اعمال نیرو دارد. در تنش‌های پایین مصالح می‌توانند تعداد سیکل تناوب بی‌شماری را تحمل نمایند. برای بعضی مصالح مانند فلزات، منحنی S-N (تنش - تعداد) برای تنش‌های کم به صورت افقی درمی‌آید این بدان معنی است که در تنش‌های پایین تعداد بی‌نهایت زیاد تنش متناوب می‌تواند قبل از گسیختگی مصالح رخ دهد. تنشی که در آن، این مسئله رخ می‌دهد حد دوام نامیده می‌شود. حد بیان مصالح بر حسب رابطه تنش بیان می‌شود.

خستگی در اینجا به معنی گسیختگی و شکست است در اثر تنشی که متناوباً وارد شده و قطع می‌گردد. این تنش‌ها ممکن است تکراری (Repeated) یا آلترناتیو (Alternating) که در آن تنش منفی نیز وجود دارد و یا کاملاً معکوس (Reversed) که در آن تنش وارده مثبت به اندازه تنش منفی باشد که میانگین آن‌ها صفر است.

تنش خستگی نیز متفاوت است و ممکن است کششی، خمشی و... باشد. آزمایشی که اغلب انجام می‌گیرد آزمایش تسمه یا میله‌ای است که به دور خود می‌چرخد و در عین حال تحت تأثیر تنش خمشی قرار می‌گیرد در این حالت لانه‌های فلز تحت تأثیر تنش‌های کششی و فشاری به طور آلترناتیو قرار می‌گیرند ممکن است بدون چرخاندن نمونه آن را تحت تأثیر تنش خمشی متناوب قرارداد که این آزمایش برای تسمه‌ها کاربرد زیادی دارد. نتایج آزمایش برای حالت‌های فوق متفاوت است و با یکدیگر متفاوت است. آن نتیجه‌ای برای ما معتبر است که شرایط آزمایش با شرایط واقعی مطابقت داشته باشد.

محل شکستگی خستگی در فلزات کاملاً مشخص است و از دو دایره متحدالمرکز تشکیل شده محل شکستگی در ابتدا دارای دانه‌های ریز و ظریفی (صدفی) می‌باشد و در مرکز آن سطحی خشن قرار دارد. معمولاً شکستگی در آزمایش خستگی از سطح فلز و جایی که ناصافی یا خراش سطحی وجود داشته باشد یا عیوبی در ساختمان داخلی فلز مانند ناخالصی و یا حفره داخلی فلز شروع می‌شود و رشد می‌کند تا اینکه بخشی از سطح مقطع نمونه را فراگیرد و وقتی سطح مقطع دست نخورده نمونه نتواند تنش وارده را تحمل نماید نمونه می‌شکند و سطحی خشن در این محل ایجاد می‌گردد.

عوامل مؤثر در آزمایش خستگی: نتایج آزمایش خستگی به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- ✓ شرایط سطح نمونه
 - ♦ صاف بودن یا خشن بودن سطح نمونه
 - ♦ خراش سطح نمونه
 - ♦ دانه‌دانه بودن یا حفره داشتن سطح
- ✓ ترکیبات شیمیایی فلز
- ✓ اندازه دانه‌ها
- ✓ درجه حرارت محیط آزمایش
- ✓ فرکانس تنش
- ✓ میانگین تنش (در مورد تنش‌های آلترناتیو)

مقاومت خستگی با زیاد شدن درجه حرارت کاهش می‌یابد و با کوچک شدن دانه‌های فلزی Grain size مقاومت خستگی زیاد می‌شود. هر ترکیب یا عنصری که در فلز باعث سختی و بالا رفتن تنش تسلیم باشد مقاومت خستگی را افزایش می‌دهد. اگر نمونه در محیط‌های شیمیایی که باعث خوردگی فلز می‌شود قرار گیرد باعث کاهش مقاومت نمونه می‌شود. همچنین سرعت و روش سرد کردن فلز نیز باعث تغییر در مقاومت بتون می‌شود.

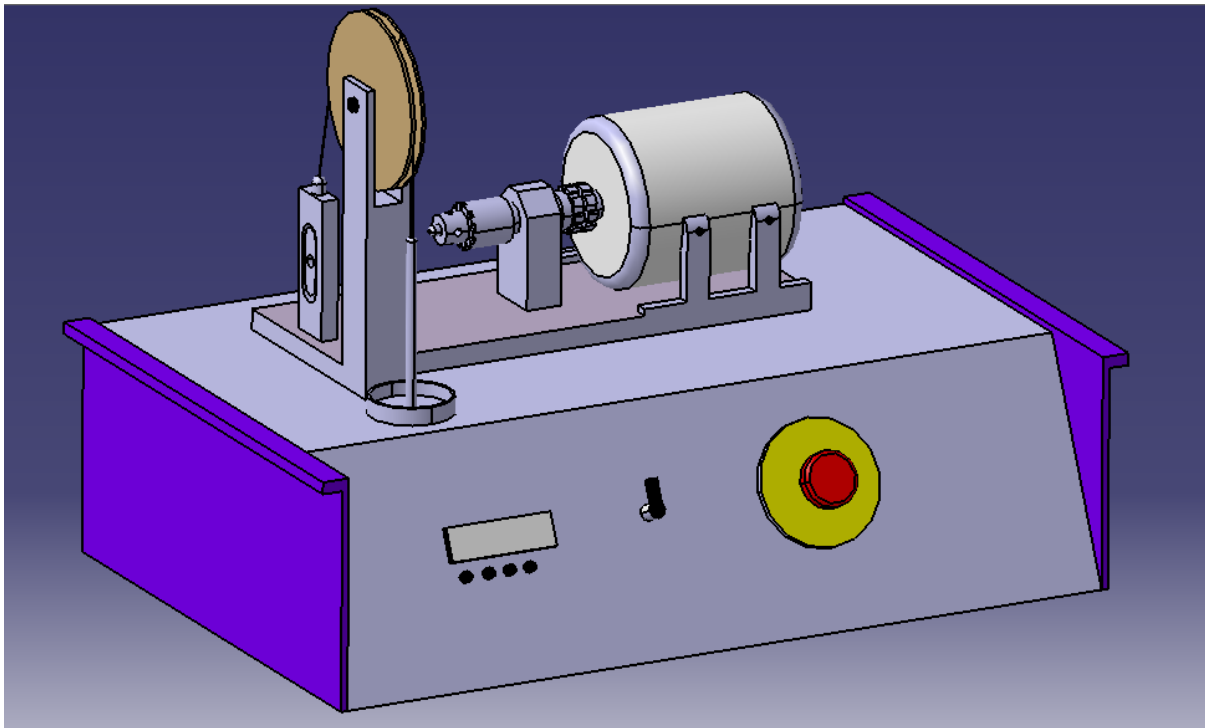
آزمایش تیر چرخان (Rotary Bending) یکی از آزمایش‌های بنیادی، مشاهده پدیده خستگی است. در این آزمایش یک تیر یکسر درگیر چرخان تحت بار نقطه‌ای قرار می‌گیرد و در شرایط مختلف تعداد دور تا شکست (N) برای قطعه استاندارد اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. بیان استحکام خستگی همیشه با تعداد دور همراه است. می‌توان دید که از 10^6 دور به بعد نمودار حالت افقی پیدا می‌کند. در این ناحیه استحکام خستگی (S_f) مستقل از تعداد دور است که به این پدیده عمر بی‌نهایت گفته می‌شود.

$$M = P \cdot L \qquad \sigma = \frac{4PL}{\pi R^3}$$

اهداف آزمایش:

- ۱- تعیین حد دوام
- ۲- آشنایی با آزمون خستگی و کلیات آزمون خستگی
- ۳- بررسی سطح شکست

روش انجام آزمایش:



مواد آزمایش :

میله آلومینیومی و برنجی

روش کار :

- ۱- ابتدا قطر میله که شکست در آنجا رخ می دهد را اندازه گرفته
- ۲- طول میله ای که بین سه نظام تا بلبرینگ قرار گرفته است را اندازه بگیرید
- ۳- میله را درون دستگاه ببندید
- ۴- بار را به آرامی بر روی میله قرار دهید
- ۵- دستگاه را روشن کنید
- ۶- وقتی میله در اثر خستگی شکست دستگاه به طور خودکار متوقف می شود
- ۷- این آزمایش را برای دو میله آلومینیومی و برنجی انجام دهید
- ۸- و تنش را از طریق فرمول زیر حساب کنید

$$\sigma = \frac{4PL}{\pi R^3}$$

آزمون سختی

مقدمه :

سختی یک ماده عبارتی است که به خوبی تعریف نشده است ، ولی بسته به تجربه کسی که با آن سروکار دارد معانی زیادی به خود می گیرد. به طور کلی ، معمولاً سختی حاکی از مقاومت در برابر تغییر شکل است و این خاصیت در فلزات معیاری از مقاومت آن ها در برابر تغییر شکل موم سان و دائم است. برای کسی که با علم مکانیک مواد سروکار دارد، به احتمال زیاد سختی در برابر فرورفتگی است، و برای مهندس طراح غالباً یک کمیت معین و از نظر اندازه گیری ساده است که اطلاعاتی از استحکام و عملیات حرارتی فلز به دست می دهد. بسته به نحوه اجرای آزمایش ، کلاً سه نوع مقیاس سختی عمومی وجود دارد. این سه نوع عبارتند از: (۱) سختی خراش؛ (۲) سختی فرورفتگی؛ (۳) سختی برگشت یا انعکاس. در مورد فلزات سختی اهمیت مهندسی عمده ای دارد.

سختی خراش برای معدن شناسان اهمیت درجه اولی دارد. کانی های مختلف و سایر مواد ، با این مقیاس سختی و برحسب قابلیت خراش دادن یکدیگر طبقه بندی می شوند. سختی خراش طبق مقیاس موس اندازه گیری می شود. این مقیاس شامل ده کانی استاندارد است که برحسب قابلیت خراش منظم شده اند. نرم ترین نوع کانی در این مقیاس تالک است (با سختی خراش یک) و الماس با سختی ده را دارا است. ناخن دارای سختی دو ، مس تابانیده شده دارای سختی سه و مارتنزیت دارای سختی هفت است. مقیاس موس برای فلزات مناسب نیست چون در دامنه سختی زیاد ، گستردگی فواصل چندان بزرگ و مناسب نیست. سختی موس بیشتر فلزات سخت در دامنه چهار تا هشت واقع می شود. در نوع دیگری آزمایش سختی خراش ، عمق یا عرض خراشی که در اثر خراش کشیدن سوزن الماسه با یکبار معین روی سطح ایجاد شده ، اندازه گیری می شود. این وسیله گرچه برای اندازه گیری سختی نسبی اجزای ریز ابزار مفیدی است، ولی دقت زیادی نداشته و تکرارپذیر نیست.

در اندازه گیری سختی به طریق دینامیک معمولاً سنبه ای بر سطح فلز می افتد و سختی به صورت انرژی ضربه بیان می شود. دستگاه شور اسکروسکوپ ، که متداول ترین دستگاه آزمایش سختی دینامیک است ، سختی را برحسب ارتفاع بازگشت سنبه اندازه گیری می شود.

محاسبه ی سختی به روش سختی فرورفتگی از متداول ترین روش های مهندسی می باشد.

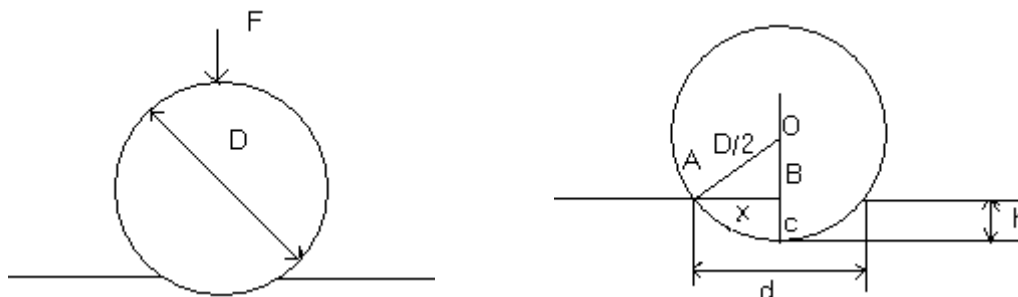
آزمایش برینل:

این آزمایش بر اساس فروبردن یک ساچمه‌ی فلزی سخت تحت یک نیروی F می‌باشد.

عدد سختی برینل عبارت است از بار وارده تقسیم بر سطح تورفتگی A که ساچمه از خود باقی می‌گذارد:

$$HB = \frac{F}{A \left(\frac{kp}{mm^2} \right)}$$

پس از برداشتن ساچمه حفره‌ای به قطر d و عمق h در قطعه‌ی موردنظر باقی می‌ماند.



سطح تورفتگی عبارت است از:

$$A = \pi \cdot D \cdot h$$

$$h = \frac{D}{2} - x \quad \text{و} \quad x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad \text{و} \quad h = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

و سختی برینل:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

برتری این روش: معدل‌گیری مناسب سختی، بدین جهت این روش برای اجسام ناهمگون مناسب می‌باشد.

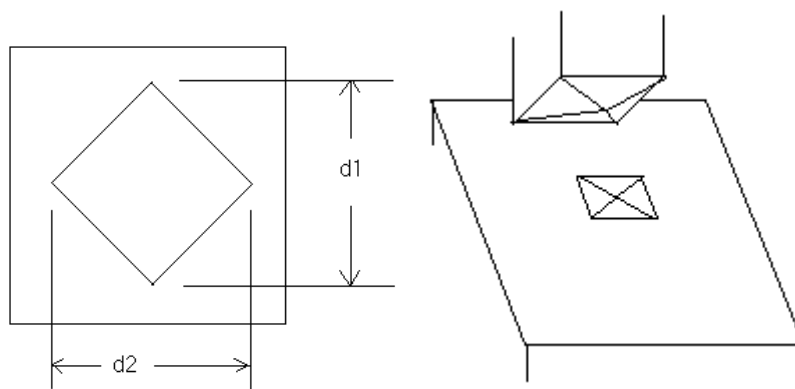
نواقص این روش: در اثر نیروهای بالا ممکن است ساچمه‌ها شکاف بردارند.

برای اینکه بتوان تورفتگی‌های مناسبی جهت اندازه‌گیری به دست آورد، بایستی نیروی F و قطر گلوله طوری انتخاب شود که قطر تورفتگی d مساوی $0.2D$ تا $0.7D$ به وجود آید.

سختی‌های قابل‌مقایسه وقتی حاصل می‌شود که F متناسب با D^2 انتخاب شود. با در نظر گرفتن نیروهای استاندارد مساوی با $2.5D^2$, $5D^2$, $10D^2$, $30D^2$ جدول زیر در رابطه با ساچمه‌هایی با قطرهای گوناگون حاصل می‌شود.

روش ویکرز:

با مقایسه با آزمایش سختی برینل در این روش وسیله‌ای اعمال نیرو یک الماس هرمی شکل باقاعده‌ای مربعی شکل با زاویه‌ای 136° می‌باشد.



عدد سختی ویکرز را با HV نشان می‌دهند و عبارت است از:

$$HV = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح حفره ایجاد شده}}$$

سطح جانبی هرم مربع‌القاعده می‌باشد که مساوی ست با:

$$dm = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{و} \quad A = \frac{dm^2}{2 \cos 22^\circ}$$

بار وارده را می‌توان بین ۱۰ تا ۵۰ کیلو پوند انتخاب کرد. بارهای معمول ۱۰، ۳۰، ۵۰ کیلو پوند می‌باشد. زمان اعمال بار بایستی بین ۱۰ تا ۱۵ ثانیه باشد. ۰ تا ۳۰۰ سختی ویکرز و برینل یکی می‌باشد

مزیت این روش:

الف) هم برای اجسام نرم و هم برای اجسام سخت مناسب است.

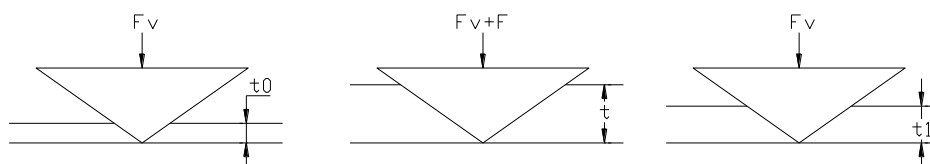
ب) برای اجسام نازک مثلاً برای سطوح آبکاری مناسب است.

ج) گودی‌های ایجادشده از نظر هندسی مشابه می‌باشند، بطوریکه تا حدود زیادی سختی به مقدار بار بستگی ندارد.

با همهی مزایای بالا به علت اینکه سطوح نمونه بایستی کاملاً صاف و پرداخت شده باشد و نیز خطای اندازه گیری به علت کوچک بودن حفره حاصله این روش مورد استفاده چندانی ندارد.

روش راکول:

سختی راکول توسط مخروطی از الماس با زاویه ی رأس 120° و شعاع انحنا 0.2 میلی متر و یا ساچمه ی فولادی انجام می شود. در این حالت عدد سختی بستگی به عمق اثر داشته و نیروی وارده در دو مرحله انجام می شود. در مرحله اول نیروی اولیه ی F_v وارد می شود که الماس مخروطی یا ساچمه را تا عمق t_0 در سطح نمونه فرومی کند. سپس نیروی اصلی F پس از برداشتن F مقدار عمق e را اندازه می گیرند.



۱۰۰ واحد درجه بندی = 0.2 میلی متر عمق

مراحل اعمال بار برای آزمایش سختی راکول: $HR_c = 100 - e$

۱۰۰ واحد درجه بندی برابر است با 0.2mm و به دین صورت $1HR_c = 0.002\text{mm}$

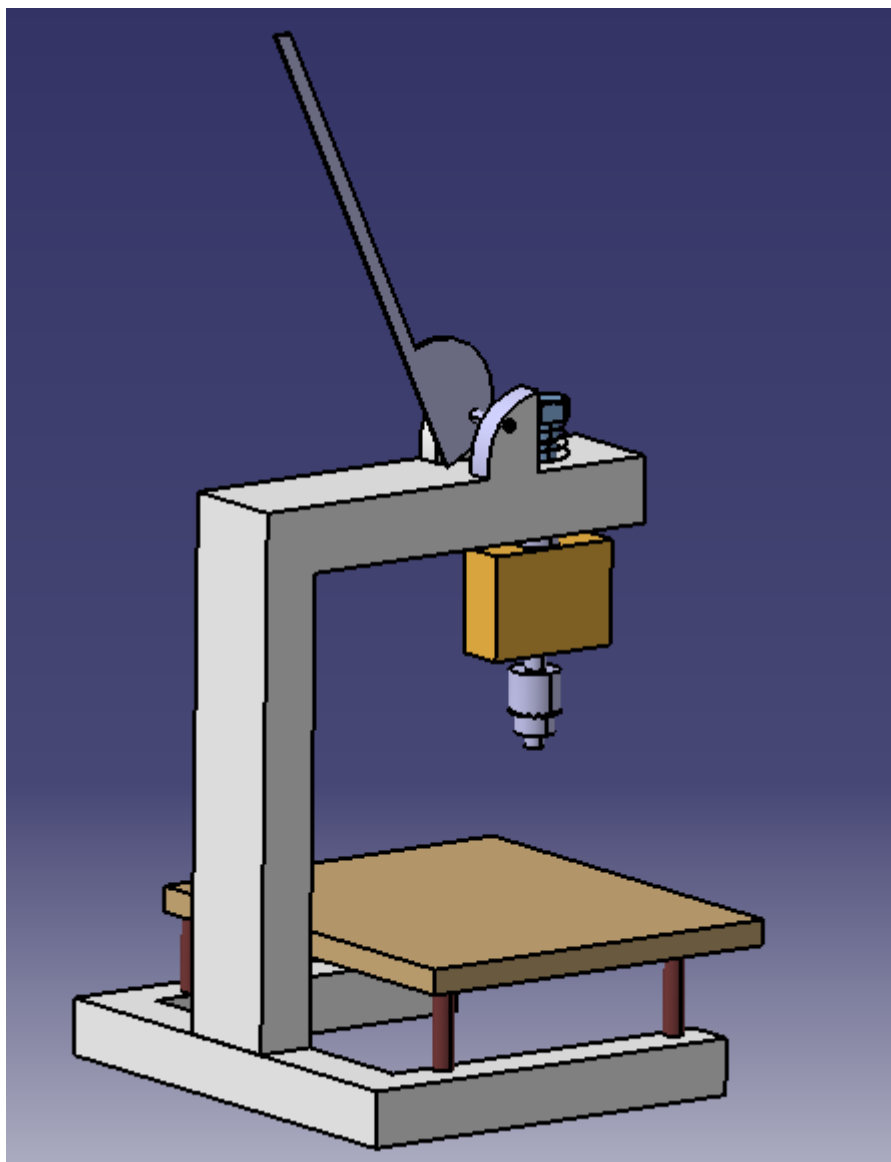
پس HR_c عدد سختی راکول بستگی به عمق نفوذ دارد، یعنی هر چه e بزرگ تر است، جسم مورد آزمایش نرم تر و عدد سختی کوچک تر است. در اکثر دستگاه های سختی سنج راکول صفر دستگاه طوری میزان شده است که می توان عدد سختی مستقیماً روی صفحه شاخص خواند.

در آزمایش سختی راکول مقیاس های گوناگونی از جمله HRA و HRB و HRC و HRD و HRE وجود دارد؛ که برحسب و نوع ماده (فلز) مورد استفاده قرار می گیرند.

هدف آزمایش:

آشنایی با نحوه انجام آزمون برینل

روش انجام آزمایش :



روش کار :

- ۱- ابتدا ساچمه ۶.۴ میلی تری را بین سه نظام دستگاه ببندید
- ۲- میله‌های نگه‌دارنده را بر روی دستگاه قرار دهید
- ۳- نمونه آلومینیومی را درون دستگاه گذارید
- ۴- لود سل را از طریق ترانسمیتر به لپ‌تاپ متصل نمایید

- ۵- به نمونه وزن مشخصی (نیروی مشخصی) وارد کنید
- ۶- بعد از اثر گذاشتن ساچمه از نمونه به همراه کولیس عکس برداری کنید
- ۷- با استفاده از لپ تاپ قطر نمونه را به دست آورید
- ۸- نیروی مشخص از طریق فرمول روبه‌رو به دست می‌آید $P = XD^2$
- ۹- برای اینکه اندازه‌گیری از دقت خوبی برخوردار باشد باید $0.2D < d < 0.7D$ باشد
- ۱۰- از طریق فرمول زیر سختی را محاسبه کنید

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



گزارش کار آزمایشگاه مقاومت مصالح

عنوان آزمایش :

شماره آزمایش :

تاریخ انجام آزمایش :

تاریخ ارائه آزمایش :

شماره گروه آزمایشگاه :

نام و نام خانوادگی :

منابع :

درس نامه آز مقاومت دانشگاه اسلامی آزاد نجف آباد

درس نامه آز مقاومت مهندس ممقانی

درس نامه آز مقاومت دکتر محمدی

درس نامه آز مقاومت دانشگاه اسلامی آزاد ساوه

درس نامه آز مقاومت مهندس معین الدینی