آموزشکده شهید بهشتی کرج - گروه ماشین ابزار

برابر با سر فصل درسی دوره کاردانی ماشین ابزار

آزمایشگاه مقاومت مصالح

شناسنامه جزوه

نام جزوه : آزمایشگاه مقاومت مصالح

نام گردآورنده : مهندس مهدی مقدمیان و گروه ماشین ابزار آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

بر اساس : سر فصل درسی دوره کاردانی ماشین ابزار (۱۳۷۴)

هدف

در دوره کاردانی گروه مکانیک رشته ساخت و تولید گرایش ماشین ابزار، درسی به نام آزمایشگاه مقاومت مصالح وجود دارد که یک واحد عملی است و مدت زمان آن دو ساعت در هفته می باشد.هدف از گنجاندن این درس در دوره کاردانی ماشین ابزار در سرفصل درسها به قرار زیر بیان شده است:

فراگیر در این درس تأثیر اعمال تنشهای کششی، فشاری، پیچشی، خمشی و ضربه به اجسام را در عمل بررسی می کند.

برابر با سرفصل پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می رود که :

۱)آزمایش کشش و فشار را بروی مواد گوناگون (پولاد- برنج- برنز -آلومینیم و ...) انجام دهد.

۲)آزمایش پیچش مقاطع را انجام دهد.

۳)آزمایش خمش را بروی نمونه های گوناگون انجام دهد.

۴)آزمایش ضربه را بروی نمونه های گوناگون انجام دهد.

ساعتهای تدریس و مقدار نمره هر بخش، برابر با سرفصل

جلسه	نمره	سرفصل	ریز مطالب	نظری	عملی
۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۶/۵	آزمایش کشش و فشار را بروی مواد گوناگون (پولاد - برنج -برنز -آلومینیم و ...) انجام دهد.	انجام آزمایش کشش و فشار، رسم دیاگرام تجربی تنش و تغییر طول نسبی، تعیین مدول الاستیسیته تجربی تنشهای کششی و فشاری	-	۱۰
۶ ۷ ۸ ۹	۴/۵	آزمایش پیچش مقاطع را انجام دهد.	انجام آزمایش پیچش و محاسبه مدول برشی	-	۸
۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳	۴/۵	آزمایش خمش را بروی نمونه های گوناگون انجام دهد.	انجام آزمایش خمش بروی نمونه های گوناگون	-	۸
۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷	۴/۵	آزمایش ضربه را بروی نمونه های گوناگون انجام دهد.	انجام آزمایش ضربه بروی نمونه های گوناگون	-	۸
۱۷	۲۰	جمع	۳۴ ساعت	-	۳۴

فهرست

بخش اول : قوانین کشش در مقاومت مصالح ۶

بخش دوم : قوانین پیچش در مقاومت مصالح ۲۶

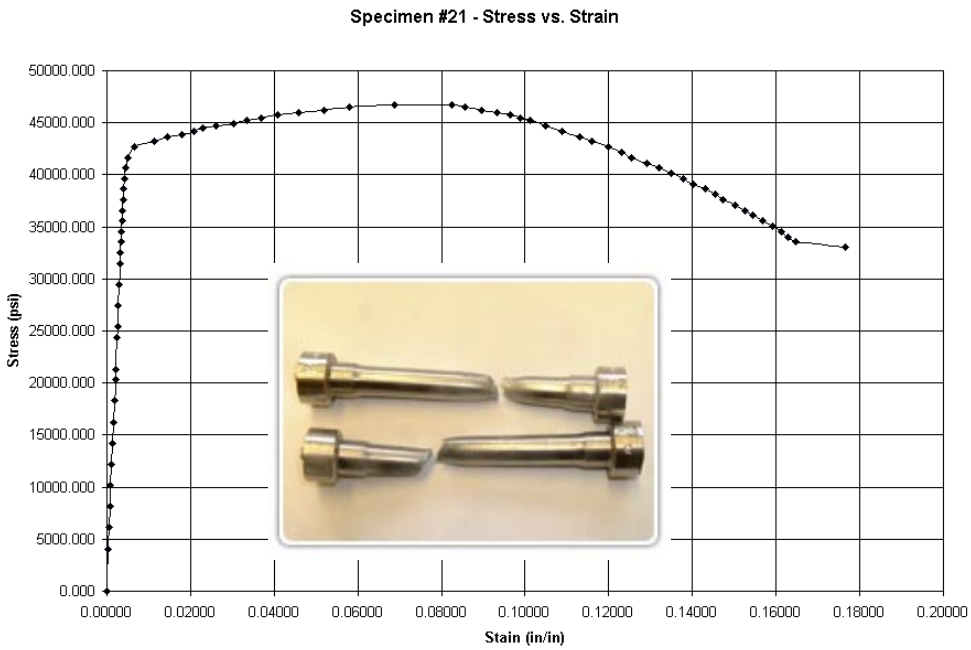
بخش سوم : قوانین خمش در مقاومت مصالح ۳۵

بخش چهارم : قوانین ضربه در مقاومت مصالح ۴۲

بخش پنجم: پیوست ۵۴

مراجع ۶۴

بخش اول



قوانین کشش در مقاومت مصالح

۱)مقاومت مصالح

هر جسم جامدی در مقابل نیرو تغییر شکل می دهد زیرا نیروهای خارجی وارد بر جسم بین مولکولهای آن تقسیم شده نیروهای بین مولکولی را تغییر می دهد که این تغییر باعث می شود مولکولها نسبت به یکدیگر اندکی جا به جا شوند و شکل ظاهری جسم کمی تغییر کند.هم به کمک آزمایش، و هم به صورت تئوری می توان مقدار این تغییر شکلها را به دست آورد.

مواد در مقابل تغییر شکل مقاومت می کنند.عکس العمل جسم در برابر تغییر شکل را مقاومت آن جسم می گویند و به علمی که مقاومت مواد را بررسی می کند مقاومت مصالح (مقاومت مواد) گفته می شود. گاهی این علم را خواص مکانیکی اجسام صلب و شکل پذیر می نامند.در درس تئوری به کمک فرمولهای موجود، مقاومت مواد در برابر نیرو بررسی می شود اما برای تعیین مقاومت مواد از روشهای تجربی، آزمایشهای مقاومت مصالح به کار می رود.

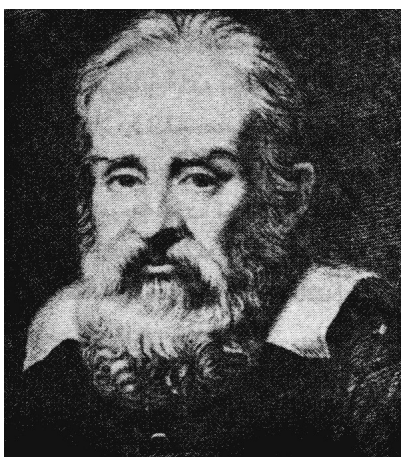
شکل و جنس هر قطعه باید به نحوی انتخاب گردد که بتواند وظیفه خود را به درستی انجام دهد به عبارت دیگر تغییر شکل آن از مقدار مجاز تجاوز نکند.بیشترین مقدار تغییر شکل یک جسم را تغییر شکل مجاز آن می گویند.تغییر شکل مجاز بستگی به نوع سازه یا قطعه دارد و در نتیجه برای هر کاری متفاوت است.به این ترتیب مهم ترین مطلبی که مقاومت مصالح مطرح می کند این است که برای هر قطعه یا سازه چه شکل هندسی و چه نوع ماده ای باید انتخاب گردد تا وظیفه خود را به درستی انجام دهد و تغییر شکل آن از مقدار مجاز تجاوز نکند.

تمام بخش های تشکیل دهنده سازه ها و قطعات مهندسی باید اندازه فیزیکی مشخص و متناسبی داشته باشند تا در مقابل نیروهایی که به آنها اعمال خواهد شد، پایداری کنند. به عنوان مثال یک مخزن فشار باید دارای استحکام کافی باشد تا فشار داخلی را تحمل کند، سقف یک ساختمان باید به اندازه کافی قوی و محکم باشد، میل لنگ یک موتور باید اندازه قابل قبول و متناسبی داشته باشد تا گشتاورهای پیچشی لازم را تحمل کند، بال یک هواپیما باید با ایمنی کامل در مقابل بارهای آیرودینامیکی اعمال شده در هنگام پرواز یا فرود مقاومت کند، به همین ترتیب یک سازه مرکب باید به اندازه کافی صلب باشد تا تحت بار، بیش از حد خم نشود.سقف یک ساختمان ممکن است به اندازه

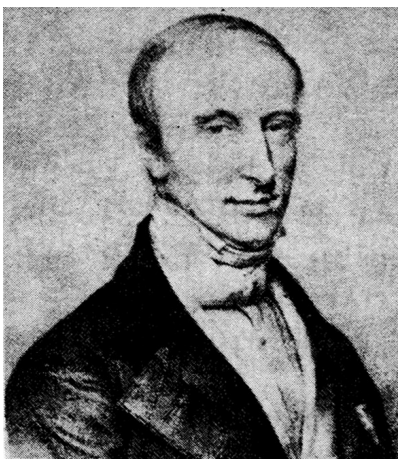
کافی محکم باشد، اما بیش از حد خم شود و گاهی اوقات باعث ترک خوردن گچ سقف گردد.همچنین یک عضو ممکن است به حدی باریک یا لاغر باشد که تحت تأثیر بارهای فشاری در اثر کمانش تغییر شکل دهد.در عمل باید ضمن رسیدن به خواسته های مذکور، حداقل هزینه مواد نیز در نظر گرفته شود.در کنار هزینه، گاهی اجرای موفق یک عملیات به وزن سیستم نیز بستگی دارد (مانند طراحی اقمار مصنوعی).

مقاومت مصالح یکی از درسهای نسبتا قدیمی به حساب می آید.تاریخچه این درس به ابتدای قرن هفدهم میلادی و زمان گالیله باز می گردد.قبل از گالیله، معماران برای ساخت بناها از روشهای غیر علمی استفاده می کردند.گالیله اولین شخصی بود که سعی کرد رفتار بعضی از انواع عضوهای مکانیکی تحت بار را توضیح دهد.او تأثیر نیروهای کششی و فشاری را بر عضوهای گوناگون و به خصوص عضوهایی که در کشتی های جنگی به کار می رفتند مورد بررسی قرار داد.علم مقاومت مصالح از آن زمان تا کنون بسیار پیشرفت کرده است و این پیشرفتها را مرهون تلاش محققین فرانسوی چون کولمب، پواسون، ناویر، سنت ونانت و کوشی می باشد.

علم مقاومت مصالح در مهندسی، کاربردهای زیادی دارد.مهندسین معدن و معماری، مهندسین عمران جهت طراحی پل ها و ساختمانها، مهندسین علوم هسته ای برای طراحی ساختمان راکتورهای اتمی، مهندسین مکانیک برای طراحی ماشین آلات و قطعات صنعتی، مهندسین شیمی برای طراحی ظروف تحت فشار، مهندسین متالورژی برای بهسازی مواد موجود و مهندسین برق برای طراحی ماشین های الکتریکی از قوانین مقاومت مصالح استفاده می نمایند.



گالیلئو گالیلئی



اوگوستین لویی کوشی

سیمون پواسون

در این نوشته قصد بر آن است تا مهمترین قوانین علم مقاومت مصالح که البته کاربرد فراوانی در طراحی و مهندسی دارند از طریق انجام آزمایشهایی به خواننده منتقل گردد.اهمیت این آزمایشها در کار طراحی به حدی است که می توان گفت:

بدون اجرای آزمایشهای مقاومت مصالح بروی مواد مورد نظر، برای تعیین دقیق رفتار آنها تحت بار، کار طراحی در حد یک ایده ذهنی باقی می ماند و یا طراحی تبدیل به کپی کاری می گردد.

۲)قانون هوک در مقاومت مصالح و منحنی آن (منحنی تنش–کرنش)

قانون هوک می گوید تنش محوری با تغییر طول نسبی تناسب خطی دارد($\sigma = E.\varepsilon$).

به عبارت دیگر قانون هوک می گوید که رابطه بین تنش و کرنش برای انواع مواد یک رابطه خطی است.این قانون یکی از قوانین اساسی و مهم در مقاومت مصالح محسوب می گردد.

آزمایش ساده ای به نام آزمایش کشش وجود دارد که در این آزمایش یک قطعه از ماده مورد بررسی تحت کشش قرار داده می شود و نیروی کشش به تدریج افزایش می یابد.به این ترتیب ماده دچار تغییر طول نسبی می گردد و با افزایش نیرو ماده در ضعیفترین نقطه، گسسته خواهد شد.

چنانچه میزان تغییر طول نمونه مورد بررسی بر حسب تنش اعمال شده بر قطعه رسم گردد نمودار مشهور و پرکاربرد تنش -کرنش بدست می آید.در حقیقت اجسام مختلف تحت اثر نیرو، رفتار متفاوتی خو اهند داشت و نمودار تنش- کرنش یک ماده، نشان گر رفتار مکانیکی آن ماده تحت اثر بار خواهد بود.

در مقاومت مصالح، بیشتر قسمت خطی نمودار تنش -کرنش مورد توجه قرار دارد که نشان دهنده قانون هوک است چرا که در این منطقه (منطقه حد تناسب ماده) تغییر شکل جسم پس از برداشتن نیرو از بین خواهد رفت اما بالاتر از این منطقه، تغییر شکل جسم حتی پس از برداشتن نیرو برقرار خواهد بود و دیگر قانون هوک قابل استفاده نیست و قواعد دیگری وجود دارد.

کوتاه سخن آن که با رسم نمودار تنش -کرنش هر ماده، رفتار مکانیکی آن دقیقاً قابل بررسی و تعیین است به همین دلیل در واحدهای طراحی جهت مشخص نمودن رفتار دقیق مکانیکی یک ماده،

نمونه ای از آن تهیه کرده به کمک آزمایش کشش، نمودار تنش -کرنش آنرا رسم می نمایند.سپس با تحلیل این نمودار رفتار مکانیکی ماده را تشخیص می دهند.

به عنوان مثال در ساخت قالبهای فلزی (سنبه ماتریس) نرم افزار شبیه سازSuper Form یا در قالبهای فورجینگ نرم افزار شبیه ساز Abacus وجود دارد که برای تعیین دقیق جنس ماده قالب، باید داده های نمودار تنش- کرنش ماده را به نرم افزار وارد نمود.در نتیجه نرم افزار تحلیلهای خود را بر مبنای داده های نمودار انجام خواهد داد.

همچنین کاربرد استحکام کششی برای پولادها بعنوان نشانه انتخاب یک پولاد خود عامل مهمی در درک اهمیت نمودار تنش -کرنش و آزمایش کشش می باشد.

۳)آزمایش کشش

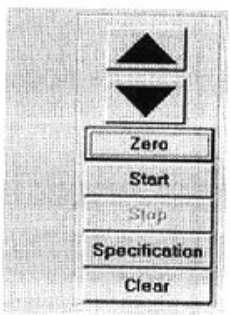
هدف از انجام این آزمایش بدست آوردن خواص مکانیکی اجسام در اثر اعمال نیروهای کششی و رسم نمودار تنش -کرنش است.

۱-۳)روش آزمایش کشش با دستگاه یونیورسال آزمایش کشش

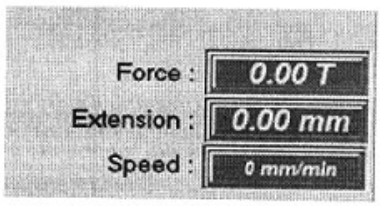
توجه: پیش از کار با دستگاه و برای آشنایی با نرم افزار آن به بخش ۴ مراجعه نمایید.

الف -نمونه های آزمایش را از چهار جنس گوناگون برابر با نقشه شکل ۳ تراشکاری نمایید.

ب- نمونه را بروی فکهای دستگاه قرار دهید و لقی آن را بگیرید.سپس در نرم افزار دستگاه دکمه Zero را فشار دهید تا اعداد نمایش داده شده در پنجره های نیرو و تغییر طول صفر شود.



شکل(۱)پنجره کنترل نرم افزار



شکل(۲)پنجره نیرو و تغییر طول

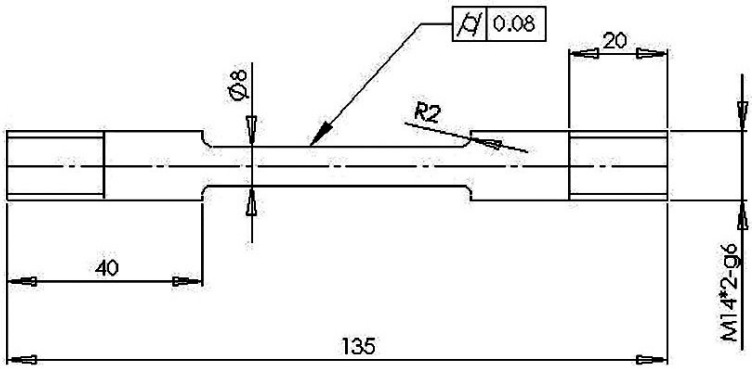
ب -دکمه Specification را فشار دهید و مشخصات نمونه را وارد کنید.سپس دکمه Ok را فشار دهید تا این پنجره بسته شود و پنجره اصلی آشکار گردد.

ج -دکمه **Start** را فشار دهید.

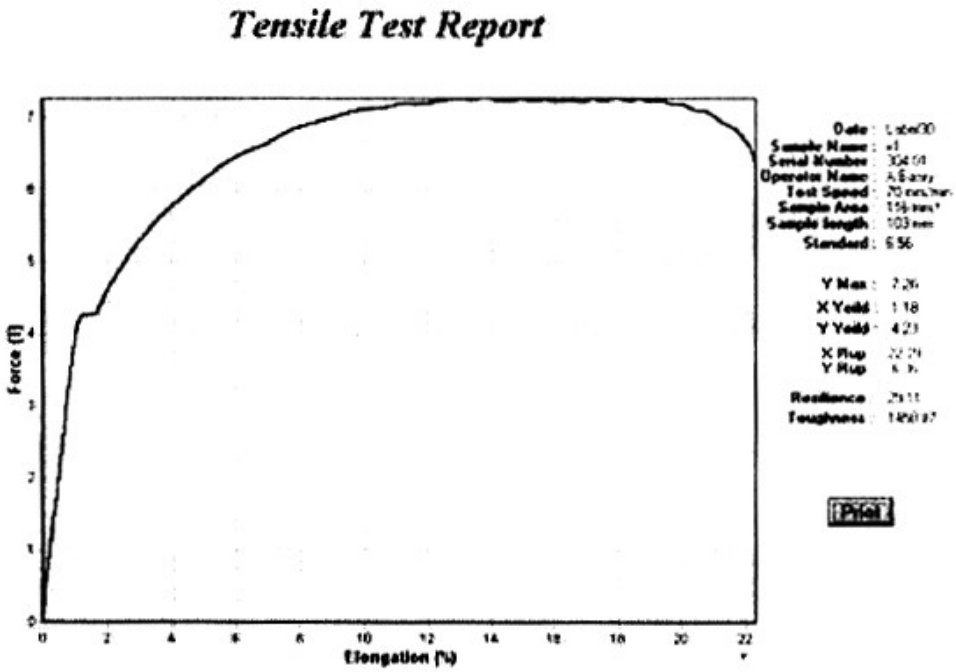
د -به کمک جک دستی تا از هم گسستن کامل نمونه به آن نیرو وارد کنید.این کار را تا حد امکان کند و یکنواخت انجام دهید. به این ترتیب نرم افزار، رسم نمودار را آغاز می کند.

ه -با انتخاب گزینه پیش نمایش چاپ (**Print Preview**) صفحه نمودار نمایش داده می شود.با انتخاب گزینه **Print** نیز می توان نمودار رسم شده را چاپ کرد.برای این کار حتماً باید چاپگر بروی رایانه و تحت سیستم عامل ویندوز نصب شده باشد.

و - کاربرگهای آزمایش کشش را کامل کنید و کمیتهای خواسته شده را از نتایج آزمایش بدست آورید.



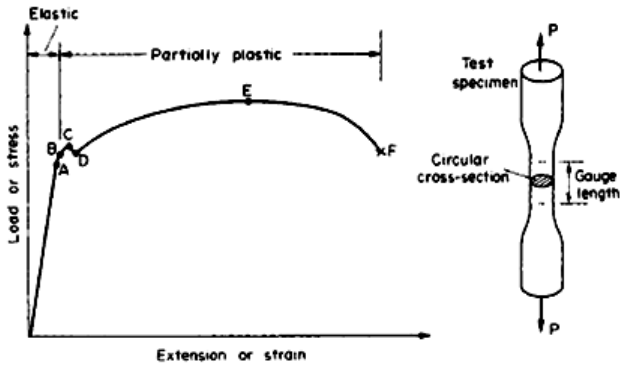
شکل(۳)نمونه آزمایش کشش



شکل (۴)نمودار تنش -کرنش حاصل از نرم افزار

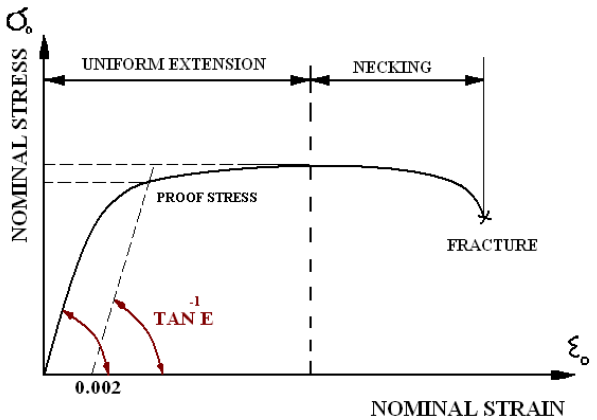
۲- ۳)تحلیل نمودار تنش -کرنش

شکل کلی نمودار تنش- کرنش برای پولاد نرم، برابر شکل (۵) می باشد.در این منحنی تنش اسمی یا **Nominal Stress** (نسبت بار بر سطح مقطع اولیه= $\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$) بر حسب تغییر شکل اسمی یا **Nominal Strain** (نسبت تغییر طول بر طول اولیه= $\varepsilon_0 = \frac{\Delta L}{L_0}$)رسم شده است.



شکل(۵)نمودار تنش -کرنش اسمی پولاد نرم در کشش

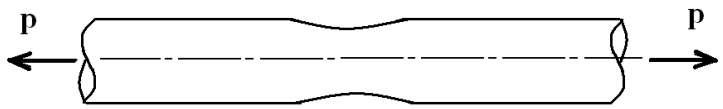
الف -نقطه ی تسلیم(Yield Point): در نمودار کشش پولاد نرم (**Mild steel**) و یا برخی از فلزهای دیگر، نقطه‌ی بخصوصی به نام نقطه‌ی تسلیم وجود دارد که پس از آن نقطه، تنش، ناگهان کاهش می یابد و نمونه در حدود ۱ تا ۲٪ تغییر طول نسبی، کش می‌آید.در حین کش آمدن، تنش به مقدار تقریباً ثابتی به نام تنش حد تسلیم می‌رسد.برخی فلزها مانند آلومینیم خالص از این رفتار پیروی نمی‌کنند.شکل (۶) نمودار تنش- کرنش اسمی آلومینیم را نشان می‌دهد.بیشتر فلزهای غیر آهنی نظیر مس، برنج، تیتانیم و همچنین پولادهای آلیاژی (به ویژه پولاد ضد زنگ) دارای این نوع نمودار تنش -کرنش می‌باشند.



شکل(۶) نمودار تنش -کرنش اسمی آلومینیم در کشش

ب– مقاومت کششی نهایی(Ultimate Tensile Strength): معمولاً فلزهای نرم (Ductile) وقتی که تحت آزمایش کشش قرار می‌گیرند، تا زمانی که بار به بیشترین مقدار خود نرسد، در سرتاسر طول خود کم و بیش، افزایش طول یکنواختی دارند.بنابراین مقاومت کششی نهایی (U.T.S) را می توان نسبت بیشترین نیرو برسطح مقطع اولیه تعریف کرد($\frac{F_{max}}{A_0}$).برای مقاومت کششی نهایی عبارتهای دیگری مانند مقاومت کشش، مقاومت نهایی و تنش ماکزیمم نیز به کار می‌رود.

ج -باریک شدن (Necking): بعد از این که مقدار نیروی کشش از بیشترین مقدار خود گذشت، نمونه باریک می شود (شکل۷).تنش در قسمت باریک شده از قسمتهای دیگر نمونه زیادتر است بنابراین افزایش طول به قسمت باریک شده نمونه محدود می‌گردد.همواره به یاد داشته باشید که در نمودار تنش -کرنش پس از نقطه‌ی بیشترین بار کششی، تغییر شکل در سراسر طول نمونه یکنواخت نمی باشد و به همین دلیل تنش نیز یکنواخت نیست و تعیین آن پیچیده است.



شکل (۷) باریک شدن نمونه

د -حد الاستیک (Elastic Limit): حد الاستیک جسم، بیشترین تنشی است که اگر حذف شود، اثری از تغییر طول در جسم باقی نمی ماند یا تغییر شکل دائمی بسیار اندکی پس از حذف بار در جسم ایجاد می گردد.

ه -ازدیاد طول (Elongation): تعریف ازدیاد طول عبارت است از:

نسبت افزایش طول نمونه گسیخته شده به طول نمونه اولیه

این نسبت بر حسب درصدی از طول نمونه‌ی اولیه بیان می شود.

$$\text{Elongation} = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100$$

L_F : طول نهایی (میلی متر)

L_0 : طول ابتدایی (میلی متر)

و -درصد کاهش در سطح مقطع (Reduction In Area): سطح مقطع نمونه در محل گسیختگی، به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.در صد کاهش در سطح مقطع عبارت است از :

نسبت کاهش مقطع در محل گسیختگی به سطح مقطع اولیه نمونه

این نسبت بر حسب درصدی از سطح مقطع اولیه بیان می‌شود.

$$\text{Reduction} = \frac{A_0 - A_F}{A_0} \times 100$$

A_F : طول نهایی (میلی متر)

A_0 : طول ابتدایی (میلی متر)

ز -مدول الاستیسیته یا مدول یانگ (Yang's Module): مدول یانگ یا مدول الاستیسیته (E) یکی از مهمترین خواص مکانیکی مواد می باشد و تعریف آن عبارت است از:

نسبت تنش به تغییر شکل نسبی در محدوده‌ی حد خطی نمودار تنش -کرنش($E = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$)

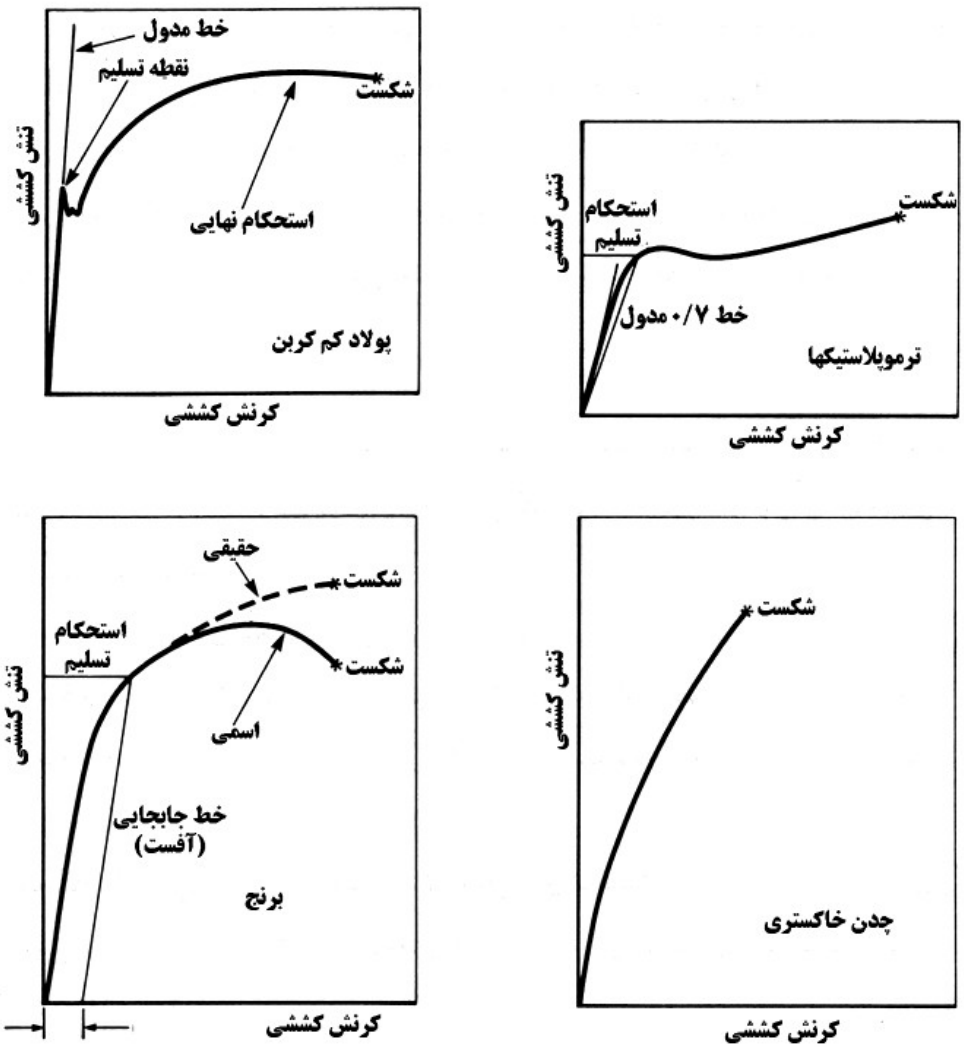
در سیستم SI بر حسب N/m^2 و یا Pa بیان می شود اما چون بسیاری از مواد مدول الاستیسیته نسبتاً بزرگی دارند، بیشتر با واحد GN/m^2 یا GPa به کار می‌رود ($G= 10^9$ = گیگا).

ح -تنش و کرنش حقیقی (True Stress And True Strain): خواص کششی قرار دادی که تشریح گردید، کاملاً خواص فیزیکی اجسام را بیان نمی‌کنند.خواص دقیق مواد را باید از نمودار تنش -کرنش حقیقی آنها به دست آورد.برای تعریف کمیت‌های حقیقی، رفتار کششی نمونه تا نقطه‌ی باریک شدن بررسی می گردد چرا که ازدیاد طول تا این نقطه، در سراسر نمونه یکنواخت است.

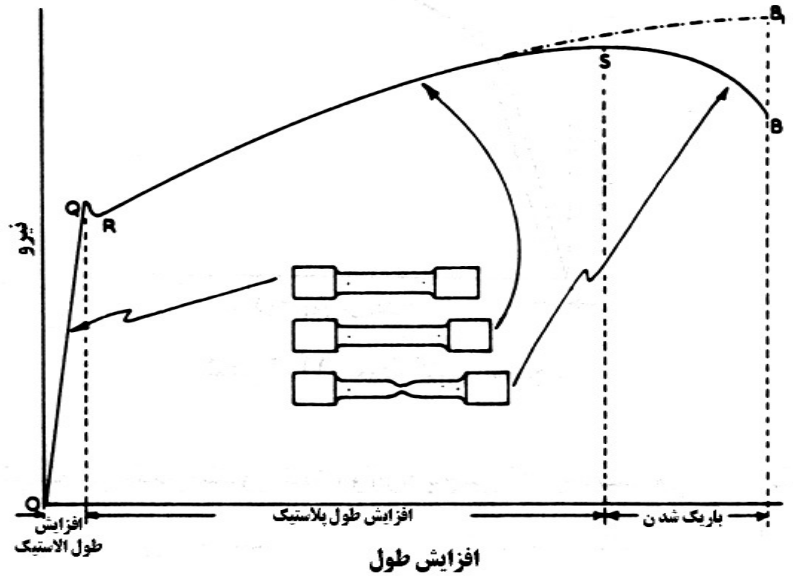
اگر P بارکششی لحظه‌ای و A سطح مقطع لحظه‌ای باشد، تنش حقیقی برابر است با $\sigma = \frac{F}{A}$ درحالی‌که تنش اسمی سطح مقطع ابتدایی (A_0) عبارت است از $\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$.کرنش اسمی نیز عبارت است از $\varepsilon_0 = \frac{L - L_0}{L_0}$ (L_0= طول اولیه و L= طول لحظه‌ای).برای محاسبه تنش و کرنش حقیقی نیز می توان از این رابطه ها استفاده نمود $\varepsilon = \text{Ln}(1+\varepsilon_0)$ و $\sigma = \sigma_0(1+\varepsilon_0)$.

برای برخی اجسام، معادله تنش و کرنش حقیقی که تقریباً رفتار بسیاری از فلزها را نشان می دهد عبارت است از: $\sigma = C\varepsilon^n$

که در آن C , n ثابتهای معادله هستند.



شکل(۸) رفتار نمودار تنش- کرنش به جنس ماده بستگی دارد.



شکل(۹) نمودار تنش -کرنش پولاد کم کربن سخت شده

۴)راهنمای نرم افزار دستگاه یونیورسال آزمایش کشش

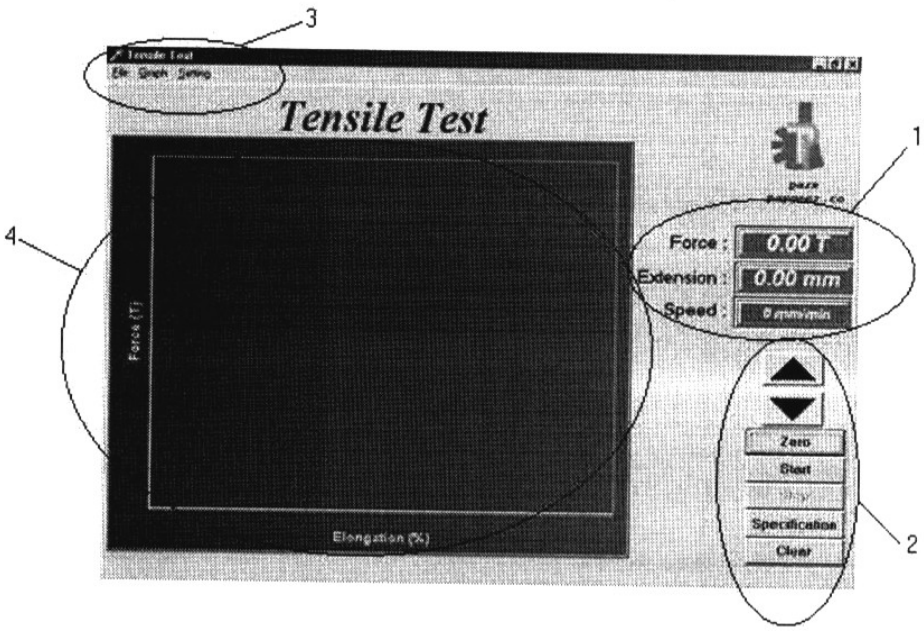
با کلیک روی آیکون نرم افزار، وارد محیط نرم افزار کشش می‌شویم.مطابق شکل ۸ صفحه نرم افـزار چهار قسمت کلی دارد.

۱ -نمایش دهنده نیرو، تغییر طول و سرعت کشش

۲ -قسمت کنترل آزمایش

۳ -فهرست دستورهای نرم افزار(Menu bar)

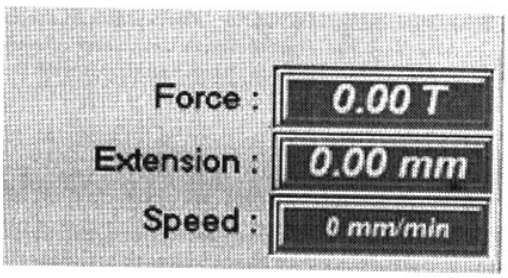
۴ -قسمت نمایش دهنده‌ی نمودار تنش -کرنش



شکل (۱۰)

۱ -۴)نمایش دهنده نیرو، تغییر طول و سرعت کشش

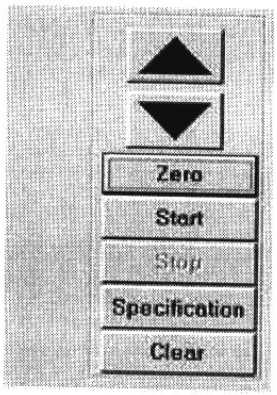
در این قسمت میزان نیرو به همراه تغییر طول و سرعت کشش، قابل مشاهده است.



شکل (۱۱)

۲- ۴)قسمت کنترل آزمایش

الف -در قسمت کنترل آزمایش توسط یک کلیک بروی هر یک از دو فلش پایین ▼ و بالا ▲ می‌توانیم فک را به منظور بستن نمونه و یا در موارد لزوم به صورت دستی بالا و پایین ببریم.(این قسمت روی سیستم های مجهز به محرک برقی فک ها کاربرد دارد.)



شکل (۱۲)

ب -دکمه zero نمایش دهنده‌های روی شکل یک را صفر می‌کند.این کار برای شروع آزمایش الزامی است.

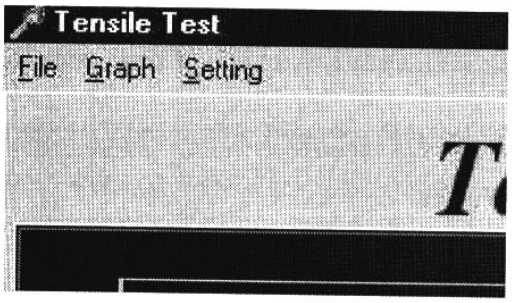
ج -دکمه Start برای شروع آزمایش است که با فشار دادن آن و پس از اعمال نیرو توسط جک دستی، رسم نمودار آغاز می گردد.

د -دکمه specification برای تغییر مشخصات نمونه مورد آزمایش به کار می‌رود.

ه -دکمه clear نمودار رسم شده‌ی قبلی را پاک می‌کند.لازم به‌ذکر است که در صورت عدم ذخیره آزمایش آخر و با کلیک بروی این دکمه، نرم افزار از کاربر می پرسد که مایل به ذخیره کردن نمودار آخر هست یا خیر که در صورت مثبت بودن پاسخ، پنجره‌ای جدید باز می‌شود و از کاربر نام جدیدی برای ذخیره درخواست می گردد در غیر این صورت نمودار آخر پاک و صفحه برای آزمایش جدید آماده می‌شود.

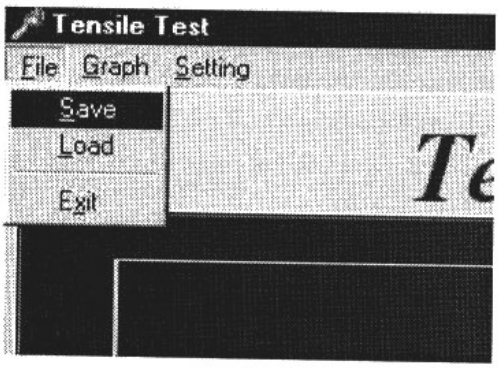
۳ -۴) فهرست دستورهای نرم افزار(Menu bar)

در این قسمت سه گزینه کرکره‌ای File، Graph، Setting وجود دارد که به شرح هر یک می پردازیم.



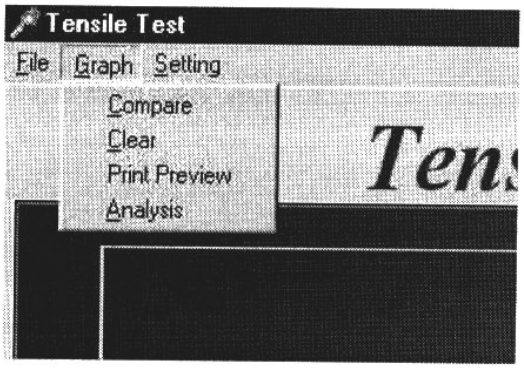
شکل(۱۳)

الف -گزینه **File** شامل سه دستور **Save** یا ذخیره برای ذخیره‌ی نمودار آزمایش انجام شده، دستور **Load** یا بارگذاری برای بازکردن یک آزمایش ذخیره شده و دستور**Exit** برای خروج از برنامه



شکل(۱۴)

ب -گزینه **Graph** شامل چهار دستور **Compare** یا مقایسه برای مقایسه‌ی نمودار ذخیره شده و نمودار آخرین آزمایش، دستور **Clear** یا پاک کردن برای پاک نمودن صفحه نمودار، دستور **Print Preview** یا پیش نمایش چاپ و دستور **analysis** یا تحلیل برای بررسی نقطه های گوناگون مورد بحث و مورد نیاز آزمایش کشش



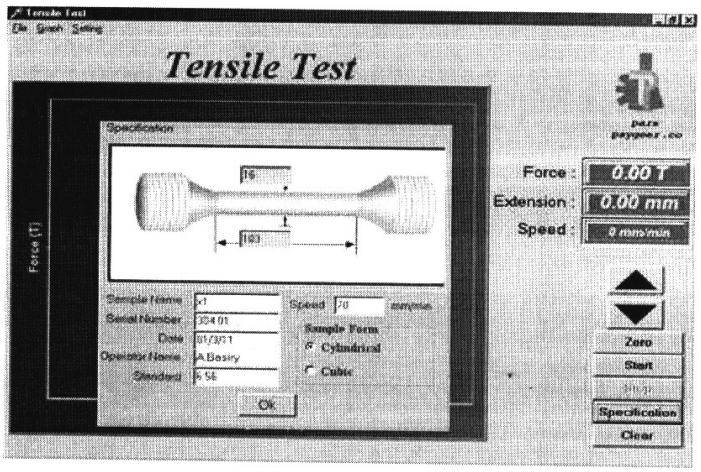
شکل(۱۵)

ج - گزینه **Setting** یا تنظیم شامل ۳ دستور به شرح زیر است:

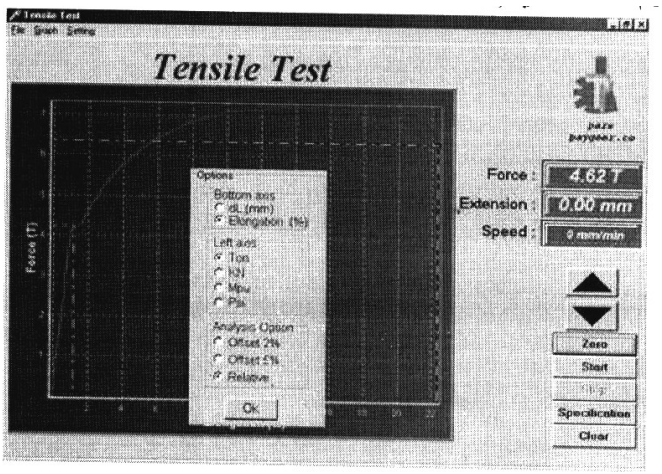
-Specification یا مشخصه برای تعیین مشخصات مربوط به نمونه آزمایش از قبیل نام نمونه، شماره سریال، تاریخ، نام کاربر، نوع استاندارد، شکل نمونه، سرعت کشش، قطر و طول نمونه مورد آزمایش.

-Option یا انتخاب برای تعیین نوع محور افقی و تحتانی در دو حالت **Elongation** و **ΔL (mm)**، محور عمودی در ۴ وضعیت **kN** ، **Mpa** ، **Psi** و **Ton** و دستور مقایسه به منظور فیلتر کردن نمودار رسم شده برای از بین بردن نوسانهای نمودار

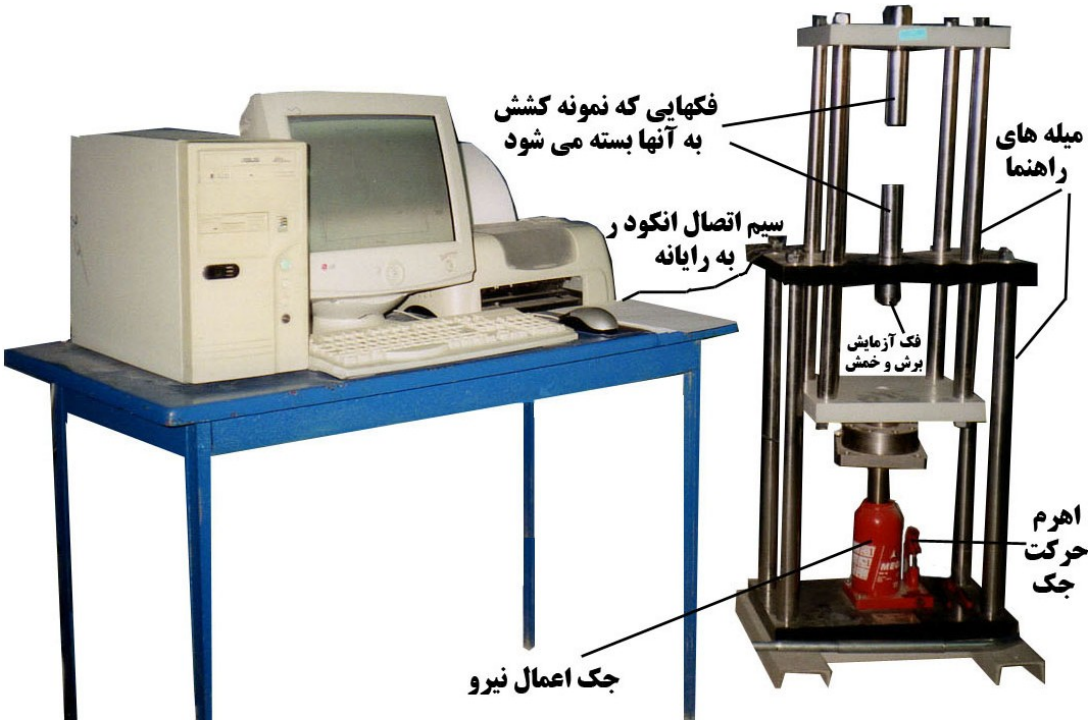
-Calibration یا درجه بندی که با مشاهده خطا در مقدار نیرو یا تغییر طول از آن برای کالیبره کردن لودسل (حس گر نیرو) و یا انکودر (حس گر حرکت) استفاده می شود.



شکل(۱۶)صفحه وارد کردن مشخصات نمونه



شکل(۱۷)صفحه انتخاب پارامتر محورهای افقی و عمودی در نمودار تنش- کرنش



شکل(۱۸)دستگاه یونیورسال آزمایش کشش آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

به پرسشهای زیر پاسخ دهید.

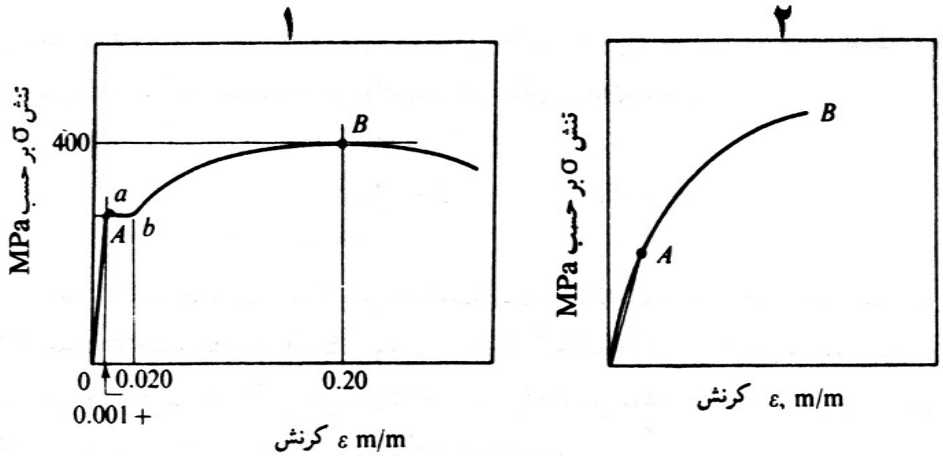
۱)علم مقاومت مصالح به چه موضوعهایی می پردازد؟توضیح دهید.

۲)کاربرد آزمایشهای مقاومت مصالح چیست؟

۳)قانون هوک را توضیح دهید.

۴)آزمایش کشش چه کاربردی دارد و نحوه اجرای این آزمایش چگونه است؟

۵)کدام یک از نمودارهای تنش -کرنش زیر مربوط به یک ماده شکننده و کدام مربوط به یک ماده نرم است؟علت را توضیح دهید.



۶)تفاوت نمودار تنش -کرنش پولاد نرم با آلومینیم چیست؟توضیح دهید.

۷)عبارتهای روبرو را تعریف کنید : تنش تسلیم، مقاومت کششی نهایی، مدول الاستیسیته

۸)تنش و کرنش اسمی با تنش و کرنش حقیقی چه تفاوتی دارد؟توضیح دهید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱ : آزمایش کشش آلومینیم

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱- نمودار تنش- کرنش نمونه را رسم کنید.

۲- با توجه به نمودار تنش -کرنش اسمی، جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	پارامتر مورد نظر	مقدار
۱	تنش نقطه ی تسلیم	
۲	مقاومت کششی نهایی	
۳	حد الاستیک	
۴	در صد ازدیاد طول	
۵	درصد کاهش در سطح مقطع	
۶	مدول الاستیسیته	

۳- مقدار تنش و کرنش نسبی و حقیقی را محاسبه و جدول زیر را کامل نمایید.

تنش حقیقی	کرنش حقیقی	تنش اسمی	کرنش اسمی
$\sigma = \sigma_0(1+\varepsilon_0)$	$\varepsilon = \mathrm{Ln}(1+\varepsilon_0)$	$\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$	$\varepsilon_0 = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$

۴ -با مراجعه به جداول استاندارد و با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تحقیق کنید که این جنس برای چه کاربردی مناسب است؟

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره۲ : آزمایش کشش برنج

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱- نمودار تنش- کرنش نمونه را رسم کنید.

۲- با توجه به نمودار تنش -کرنش اسمی، جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	پارامتر مورد نظر	مقدار
۱	تنش نقطه ی تسلیم	
۲	مقاومت کششی نهایی	
۳	حد الاستیک	
۴	در صد ازدیاد طول	
۵	درصد کاهش در سطح مقطع	
۶	مدول الاستیسیته	

۳- مقدار تنش و کرنش نسبی و حقیقی را محاسبه و جدول زیر را کامل نمایید.

تنش حقیقی	کرنش حقیقی	تنش اسمی	کرنش اسمی
$\sigma = \sigma_0(1+\varepsilon_0)$	$\varepsilon = \mathrm{Ln}(1+\varepsilon_0)$	$\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$	$\varepsilon_0 = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$

۴ -با مراجعه به جداول استاندارد و با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تحقیق کنید که این جنس برای چه کاربردی مناسب است؟

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره۳ : آزمایش کشش فسفر برنز

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱- نمودار تنش- کرنش نمونه را رسم کنید.

۲- با توجه به نمودار تنش -کرنش اسمی، جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	پارامتر مورد نظر	مقدار
۱	تنش نقطه ی تسلیم	
۲	مقاومت کششی نهایی	
۳	حد الاستیک	
۴	در صد ازدیاد طول	
۵	درصد کاهش در سطح مقطع	
۶	مدول الاستیسیته	

۳- مقدار تنش و کرنش نسبی و حقیقی را محاسبه و جدول زیر را کامل نمایید.

تنش حقیقی	کرنش حقیقی	تنش اسمی	کرنش اسمی
$\sigma = \sigma_0(1+\varepsilon_0)$	$\varepsilon = \mathrm{Ln}(1+\varepsilon_0)$	$\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$	$\varepsilon_0 = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$

۴ -با مراجعه به جداول استاندارد و با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تحقیق کنید که این جنس برای چه کاربردی مناسب است؟

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره۴ : آزمایش کشش مس

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱- نمودار تنش- کرنش نمونه را رسم کنید.

۲- با توجه به نمودار تنش -کرنش اسمی، جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	پارامتر مورد نظر	مقدار
۱	تنش نقطه ی تسلیم	
۲	مقاومت کششی نهایی	
۳	حد الاستیک	
۴	در صد ازدیاد طول	
۵	درصد کاهش در سطح مقطع	
۶	مدول الاستیسیته	

۳- مقدار تنش و کرنش نسبی و حقیقی را محاسبه و جدول زیر را کامل نمایید.

تنش حقیقی	کرنش حقیقی	تنش اسمی	کرنش اسمی
$\sigma = \sigma_0(1+\varepsilon_0)$	$\varepsilon = \mathrm{Ln}(1+\varepsilon_0)$	$\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$	$\varepsilon_0 = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$

۴ -با مراجعه به جداول استاندارد و با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تحقیق کنید که این جنس برای چه کاربردی مناسب است؟

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۵ : آزمایش فشار

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

درباره پرسشهای زیر تحقیق کنید.منبع تحقیق خود را یادداشت نمایید.

۱- تفاوت آزمایش فشار با آزمایش کشش چیست؟توضیح دهید.

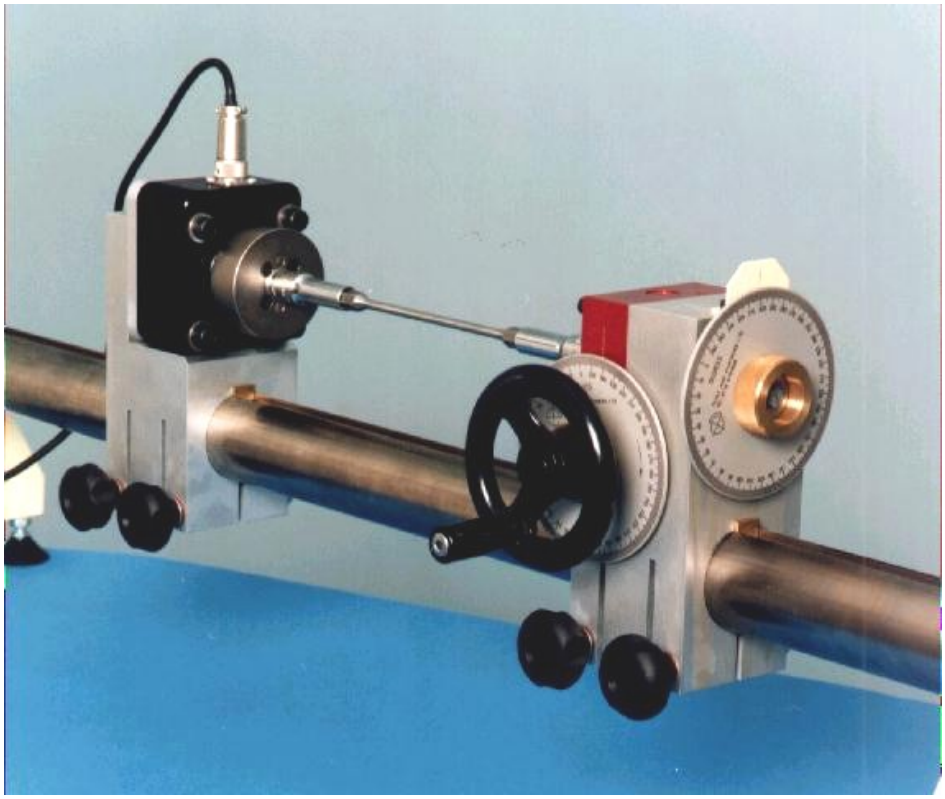
۲- آزمایش فشار برای چه موادی استفاده می شود؟

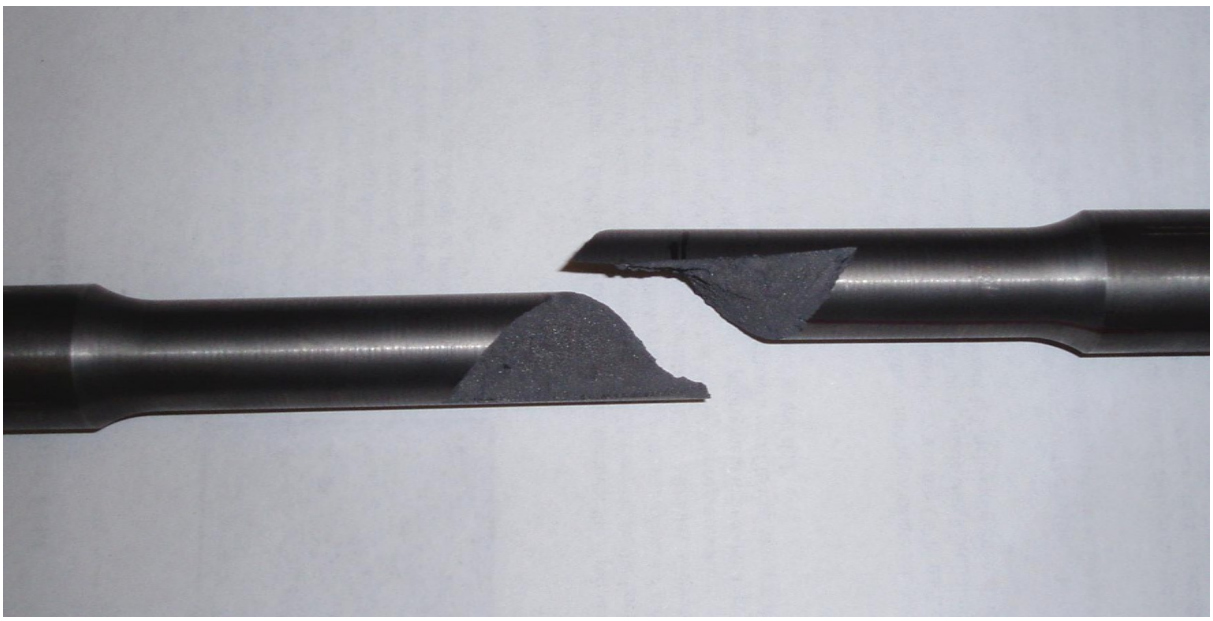
۳- آیا برای انجام آزمایش فشار دستگاه خاصی وجود دارد؟توضیح دهید.

۴ -نمودار تنش- کرنش حاصل از آزمایش کشش چه تفاوتی با نمودار تنش- کرنش حاصل از آزمایش فشار دارد؟

۵- آیا تنش تسلیم، حد الاستیک و مدول الاستیسیته در نمودار تنش -کرنش حاصل از آزمایش کشش با نمودار تنش -کرنش حاصل از آزمایش فشار تفاوت دارند؟توضیح دهید.

بخش دوم





قوانین پیچش در مقاومت مصالح

۱)آزمایش پیچش در حالت الاستیک

در مبحث استاتیک، گشتاور تعریف شد.گفتیم که نیرو علاوه بر جا به جا کردن اجسام می تواند آنها را حول یک محور نیز دوران دهد که این تمایل به دوران، گشتاور ناشی از نیرو نامیده شد.حال در مبحث مقاومت مصالح می گوییم اگر گشتاور یا لنگر پیچشی در یک عضو ایجاد گردد باعث پیچش جسم شده در آن تنش پیچشی تولید می نماید.

بسیاری از قطعات ممکن است در حین کار تحت گشتاور پیچشی قرار بگیرند.در مواردی که به جسم گشتاور پیچشی وارد می شود جنس باید به نحوی انتخاب گردد که قطعه کار در برابر تغییر شکل پیچشی مقاومت نماید.

به مانند آزمایش کشش در اینجا آزمایش پیچش در محدوده الاستیک بررسی می گردد.در محدوده الاستیک یا برگشت پذیر چنانچه گشتاور پیچشی حذف شود اثری از تغییر شکل در جسم باقی نمی ماند یا تغییر شکل دائمی بسیار اندکی پس از حذف گشتاور در جسم ایجاد می گردد.

در این آزمایش، قطعه کار تحت گشتاور پیچشی معین و گوناگونی قرار می گیرد و میزان زاویه پیچش آن ثبت می گردد تا به کمک اطلاعات بدست آمده، مدول برشی ماده محاسبه گردد.

۱-۱)روش آزمایش

۱ -نمونه‌ی آزمایش را در دستگاه پیچش قرار دهید و سه نظام نگاه دارنده نمونه را محکم کنید.

۲ -دو نقطه‌ای از نمونه که می‌خواهید میزان پیچش را بین آنها اندازه بگیرید مشخص نمایید.

۳ -ساعت های اندازه گیری را به آن نقطه ها هدایت و در آنجا محکم کنید.

۴ - جرم کفه را اندازه‌گیری نمایید و سپس آن را برای بار گذاری آماده کنید.

۵ -ساعتها را صفر کنید.

۶ -وزنه های مختلفی را به کفه اضافه کنید و وزن هر یک را در کاربرگ خود یادداشت نمایید.

۷ -برای هر وزنه مقداری که ساعتها نشان می دهند را در کاربرگ خود بنویسید.

۸ -برای هر وزنه زاویه پیچش را از روی قرص مدرج دستگاه خوانده در کاربرگ خود یادداشت کنید.

۹ -بقیه موارد کاربرگ را تکمیل نمایید.

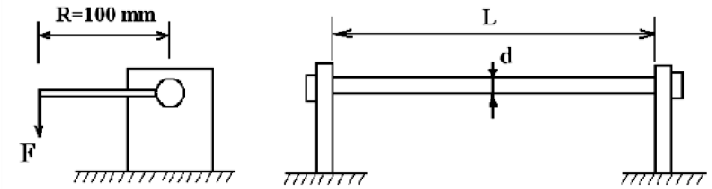
شکل(۱)دستگاه آزمایش پیچش آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

۲ -۱)بررسی رابطه آزمایش پیچش

الف -گشتاور پیچشی: برای محاسبه گشتاور وارد شده به نمونه از رابطه‌ی زیر استفاده می شود:

$$T=F\times R$$

T= گشتاور پیچشی وارد بر نمونه بر حسب نیوتن -متر، F= مجموع نیروی وزن وزنه های قرار داده شده بروی کفه و خود کفه بر حسب نیوتن و R= شعاع قرص مدرج دستگاه آزمایش پیچش به متر



شکل(۲)محاسبه گشتاور در آزمایش پیچش

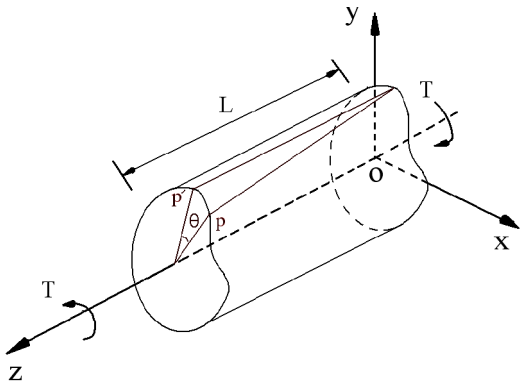
ب -زاویه پیچش: علاوه بر قرائت زاویه پیچش (θ) از روی قرص مدرج دستگاه، می توان آن را محاسبه کرد.اگر a طول انگشتی نگاه دارنده ساعت اندازه گیری و Δ مقدار تغییر اندازه گیری شده توسط ساعت باشد زاویه پیچش عبارت است از $\theta = \frac{\Delta}{a}$

ج -ضریب سختی ماده: پس از تعیین مقدار گشتاور پیچشی و زاویه پیچش برای وزنه های مختلف، می توان نمودار گشتاور پیچشی ماده را بر حسب زاویه پیچش رسم نمود و به تحلیل آن پرداخت.

د -مدول برشی: رابطه زاویه پیچش یک میله تحت گشتاور پیچشی عبارت است از:

$$\theta = \frac{T \times L}{G \times J}$$

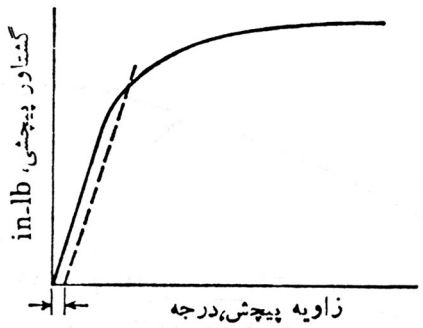
T = گشتاور پیچشی وارد بر نمونه بر حسب نیوتن -متر، J = ممان اینرسی قطبی، G = مدول سختی یا مدول برشی، L = طول نمونه مورد آزمایش بر حسب متر و θ = زاویه پیچش بر حسب درجه



شکل(۳)نمایش ارتباط متغیرهای آزمایش پیچش

اگر حاصل ضرب $G\times J$ و مقدار L ثابت نگاه داشته شوند در این صورت $T=\frac{GJ}{L}\theta \Rightarrow T=K\theta$

بنابراین رابطه‌ی بین T و θ خطی است و نمودار آنها یک خط مستقیم است.شیب این خط همان ضریب سختی K در فرمول بالا محسوب می گردد که با تعیین آن از رابطه پیچش می توان مدول برشی یعنی G را محاسبه نمود.



شکل(۴) نمودار گشتاور پیچشی- زاویه پیچش

به پرسشهای زیر پاسخ دهید.

۱ -درباره کاربرد آزمایش پیچش توضیح دهید.این آزمایش برای بررسی چه قطعه هایی مناسب است؟

۲ -نتیجه اصلی حاصل از آزمایش پیچش چیست و چگونه به کمک آن مقاومت پیچشی ماده مشخص می گردد؟

۳ -چرا رابطه بین گشتاور پیچشی و زاویه پیچش خطی است؟آیا در همه شرایط و برای همه مواد این ویژگی برقرار است؟

۴ -با توجه به نمودار T و θ ضریب سختی K چگونه محاسبه می شود؟توضیح دهید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۶ : آزمایش پیچش میل گرد آلومینیم

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	نیروی وزن F	گشتاور پیچشی T	تغییر ساعت شماره ۱ Δ_1	تغییر ساعت شماره ۲ Δ_2	زاویه پیچش شماره ۱ θ_1	زاویه پیچش شماره ۲ θ_2	زاویه پیچش کل θ
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							
۸							
۹							
۱۰							

۲ -نمودار گشتاور پیچشی (T) را بر حسب زاویه پیچش (θ) رسم کنید.

۳ -به کمک نمودار رسم شده مقدار K را محاسبه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۷ : آزمایش پیچش میل گرد برنج

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	نیروی وزن F	گشتاور پیچشی T	تغییر ساعت شماره ۱ Δ_1	تغییر ساعت شماره ۲ Δ_2	زاویه پیچش شماره ۱ θ_1	زاویه پیچش شماره ۲ θ_2	زاویه پیچش کل θ
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							
۸							
۹							
۱۰							

۲ -نمودار گشتاور پیچشی (T) را بر حسب زاویه پیچش (θ) رسم کنید.

۳ -به کمک نمودار رسم شده مقدار K را محاسبه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۸ : آزمایش پیچش میل گرد آهن

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	نیروی وزن F	گشتاور پیچشی T	تغییر ساعت شماره ۱ Δ_1	تغییر ساعت شماره ۲ Δ_2	زاویه پیچش شماره ۱ θ_1	زاویه پیچش شماره ۲ θ_2	زاویه پیچش کل θ
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							
۸							
۹							
۱۰							

۲ -نمودار گشتاور پیچشی (T) را بر حسب زاویه پیچش (θ) رسم کنید.

۳ -به کمک نمودار رسم شده مقدار K را محاسبه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۹ : آزمایش پیچش میل گرد مس

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	نیروی وزن F	گشتاور پیچشی T	تغییر ساعت شماره ۱ Δ_1	تغییر ساعت شماره ۲ Δ_2	زاویه پیچش شماره ۱ θ_1	زاویه پیچش شماره ۲ θ_2	زاویه پیچش کل θ
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							
۸							
۹							
۱۰							

۲ -نمودار گشتاور پیچشی (T) را بر حسب زاویه پیچش (θ) رسم کنید.

۳ -به کمک نمودار رسم شده مقدار K را محاسبه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۰ : محاسبه و مقایسه مدول برشی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -مقدار مدول برشی را با توجه به نتایج کاربرگهای پیشین برای هر چهار جنس آزمایش شده محاسبه نمایید.سپس با مراجعه به جداول استاندارد مقدار G را برای هر جنس پیدا کرده درستی آزمایش را بررسی نمایید.جدول زیر را کامل کنید.

جدول مقایسه مدول برشی

ماده	G	
	جداول استاندارد	محاسبه شده
آلومینیم		
برنج		
آهن		
مس		

۲ -با استفاده از نسبت پوآسون که از جداول مقاومت مصالح به دست می‌آورید و با استفاده از مدول سختی G که از آزمایش به دست می‌آورید، مدول الاستیسیته E را برای نمونه های آزمایش محاسبه و با مقادیر موجود در جداول مقاومت مصالح مقایسه نمائید.

بخش سوم

قوانین خمش در مقاومت مصالح

۱)آزمایش خمش تیرها

در آزمایش کشش و فشار اثر نیروهایی را بررسی کردیم که در راستای محور قطعه کار به آن وارد می شوند.در آزمایش پیچش نیز اثر گشتاور بر قطعه کار مورد توجه قرار گرفت.اما نیروهای محوری و گشتاور تنها نیروهایی نیستند که ممکن است به یک جسم وارد شوند.در حقیقت مواردی وجود دارد که قطعه باید بار جانبی یا عرضی را تحمل نماید.به طور کلی عضوی که تحت نیروی جانبی قرار می گیرد را تیر می نامند.

به عنوان مثال اکسل اصلی اتومبیل به شکل یک تیر عمل می کند یا محورهای مورد استفاده در ماشین آلات علاوه بر تنشهای پیچشی باید در مقابل تنشهای جانبی نیز پایداری نمایند.در ساختمان سازی نیز تیر یک عضو مهم ساختمانی محسوب می گردد.

در آزمایش خمش تیرها قصد بر آن است تا پایداری تیرهای مستقیم در برابر نیروهای جانبی و مقدار تغییر شکل حاصل از این بارها بررسی گردد.

۱-۱)روش انجام آزمایش

الف -آزماش ارتباط بین مقدار بار و مقدار خمش تیر

نمونه‌ی آزمایش را بروی تکیه گاه های دستگاه آزمایش خمش قرار دهید و طول تیر بین تکیه گاهها را ۶۰۰ میلی متر تنظیم کنید.کفه اعمال بار را در وسط نمونه آویزان کنید.با قرار دادن وزنه های مختلف بروی کفه، تغییر مکان وسط تیر را با ساعت اندازه گرفته، جدول ۱ را در کاربرگ کامل کنید.

ب -آزمایش ارتباط بین طول تیر و مقدار خمش آن

یکی از نمونه ها را بر روی تکیه گاه ها قرار دهید.کفه را در وسط تیر تنظیم نمایید و وزنه معینی را بروی کفه بگذارید.با تغییر طول تیر بین تکیه گاهها و ثابت نگاه داشتن وزنه، تغییر مکان وسط تیر را با ساعت اندازه گرفته، جدول ۲ را در کاربرگ کامل کنید.

ج - آزمایش ارتباط بین ضخامت تیر و مقدار خمش آن

نمونه‌هایی با ضخامت مختلف (برای میل گرد قطر مختلف) را انتخاب و بروی دستگاه قرار دهید به نحوی که فاصله‌ی بین تکیه‌گاه‌ها ۵۰۰ میلی متر‌باشد.کفه وزنه ها را وسط نمونه قرار دهید و وزنه

معینی بروی آن بگذارید.مقدار خمش تیر را با ساعت اندازه گرفته در جدول ۳ کاربرگ یادداشت کنید.

۲-۱)بررسی رابطه خمش تیرها

با این فرض که هر صفحه‌ی عمود بر تیر پس از تغییر شکل همچنان یک صفحه باقی بماند، چنانچه نیروی متمرکز در وسط تیر اعمال شود، بیشترین تغییر مکان نیز در وسط تیر خواهد بود که مقدار آن (δ = دلتا) برابر است با:

$$\delta = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

δ = بیشترین تغییر مکان در وسط تیر بر حسب میلی متر

F = نیروی وارد بر وسط تیر بر حسب نیوتن

L = فاصله بین دو تکیه گاه تیر بر حسب میلی متر

E = مدول الاستیسیته بر حسب نیوتن بر میلی متر مربع

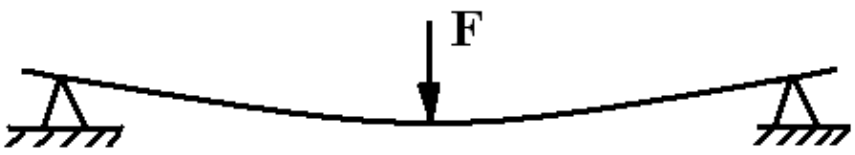
I = ممان سطح مقطع تیر

برای تیر با مقطع مستطیل شکل $I = \frac{b \times h^3}{12}$ و در نتیجه: $\delta = \frac{F \times L^3}{4 \times E \times b \times h^3}$

بنابراین برای تیر با مقطع مستطیل شکل، تغییر مکان وسط تیر با نیروی **F** و توان سوم فاصله تکیه گاه های تیر L^3 نسبت مستقیم و با عرض تیر **b** و توان سوم ضخامت تیر h^3 رابطهٔ عکس دارد.

برای تیر با مقطع گردبه قطر **d** داریم $I = \frac{\pi \times d^4}{64}$ و در نتیجه: $\delta = \frac{4 \times F \times L^3}{3 \times E \times \pi \times d^4}$

بنابراین برای تیر با مقطع گرد، تغییر مکان وسط تیر با اعمال نیروی **F** و توان سوم فاصله تکیه گاه های تیر L^3 نسبت مستقیم و با توان چهارم قطر تیر d^4 رابطهٔ عکس دارد.



شکل(۱)بیشترین تغییر مکان در وسط تیر

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۱ : آزمایش خمش میل گرد آلومینیمی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

جدول(۱)

ر دیف	نیرو (نیوتن) F	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ
۱		
۲		
۳		
۴		

۱ -با استفاده از جدول ۱، نمودار تغییر مکان بر حسب نیروی وارد شده را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۲)

ردیف	فاصله تکیه گاه ها (میلی متر)L	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3
۱	۳۰۰		
۲	۴۰۰		
۳	۵۰۰		
۴	۶۰۰		

۲ -با استفاده از جدول ۲، نمودار تغییر مکان بر حسب توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3 را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۳)

ردیف	قطر میل گرد (میلی متر)d	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	معکوس توان چهارم قطر $\frac{1}{d^4}$
۱			
۲			
۳			
۴			

۳ -با استفاده از جدول ۳، نمودار تغییر مکان بر حسب معکوس توان چهارم قطر تیر $(\frac{1}{d^4})$ را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۲ : آزمایش خمش میل گرد برنجی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

جدول(۱)

ر دیف	نیرو (نیوتن) F	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ
۱		
۲		
۳		
۴		

۱ -با استفاده از جدول ۱، نمودار تغییر مکان بر حسب نیروی وارد شده را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۲)

ردیف	فاصله تکیه گاه ها (میلی متر)L	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3
۱	۳۰۰		
۲	۴۰۰		
۳	۵۰۰		
۴	۶۰۰		

۲ -با استفاده از جدول ۲، نمودار تغییر مکان بر حسب توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3 را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۳)

ردیف	قطر میل گرد (میلی متر)d	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	معکوس توان چهارم قطر $\frac{1}{d^4}$
۱			
۲			
۳			
۴			

۳ -با استفاده از جدول ۳، نمودار تغییر مکان بر حسب معکوس توان چهارم قطر تیر $(\frac{1}{d^4})$ را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۳ : آزمایش خمش میل گرد آهنی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

جدول(۱)

ر دیف	نیرو (نیوتن) F	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ
۱		
۲		
۳		
۴		

۱ -با استفاده از جدول ۱، نمودار تغییر مکان بر حسب نیروی وارد شده را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۲)

ردیف	فاصله تکیه گاه ها (میلی متر)L	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3
۱	۳۰۰		
۲	۴۰۰		
۳	۵۰۰		
۴	۶۰۰		

۲ -با استفاده از جدول ۲، نمودار تغییر مکان بر حسب توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3 را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۳)

ردیف	قطر میل گرد (میلی متر)d	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	معکوس توان چهارم قطر $\frac{1}{d^4}$
۱			
۲			
۳			
۴			

۳ -با استفاده از جدول ۳، نمودار تغییر مکان بر حسب معکوس توان چهارم قطر تیر $(\frac{1}{d^4})$ را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۴ : آزمایش خمش میل گرد مسی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

جدول(۱)

ر دیف	نیرو (نیوتن) F	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ
۱		
۲		
۳		
۴		

۱ -با استفاده از جدول ۱، نمودار تغییر مکان بر حسب نیروی وارد شده را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۲)

ردیف	فاصله تکیه گاه ها (میلی متر)L	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3
۱	۳۰۰		
۲	۴۰۰		
۳	۵۰۰		
۴	۶۰۰		

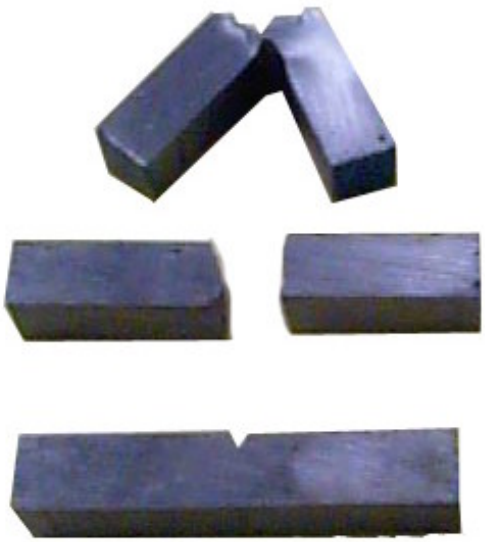
۲ -با استفاده از جدول ۲، نمودار تغییر مکان بر حسب توان سوم فاصله بین تکیه گاه ها L^3 را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

جدول(۳)

ردیف	قطر میل گرد (میلی متر)d	تغییر مکان وسط تیر (میلی متر) δ	معکوس توان چهارم قطر $\frac{1}{d^4}$
۱			
۲			
۳			
۴			

۳ -با استفاده از جدول ۳، نمودار تغییر مکان بر حسب معکوس توان چهارم قطر تیر $(\frac{1}{d^4})$ را رسم و با نمودار حاصل از رابطه تئوری مقایسه کنید.

بخش چهارم



قوانین ضربه در مقاومت مصالح

۱)آزمایش ضربه

یکی از مسائل مهم در صنعت که باعث خسارتهای زیادی می‌شود شکستن قطعات بر اثر تردی جنس آنها می‌باشد.آزمایش های کشش و فشار با همه‌ی اهمیت خود نمی‌توانند رفتار فلز را در اثر بارهای ضربه ای تعیین کنند.به ناچار برای پی بردن به قابلیت جذب انرژی فلز در دماهای مختلف از آزمایش ضربه استفاده می شود.هرچه انرژی لازم برای شکستن فلز زیادتر باشد، فلز نرمتر **(Ductile)** و بر عکس هر چه انرژی لازم کمتر باشد فلز سخت تر و ترد تر **(Brittle)** است.

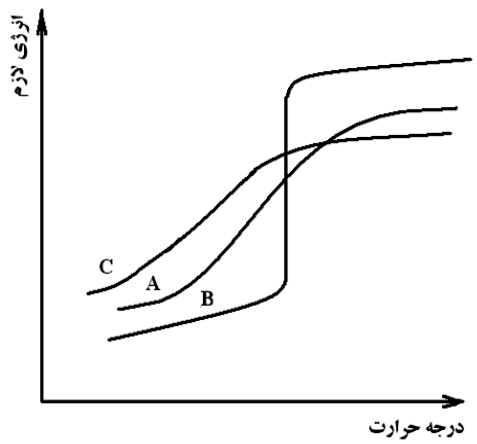
در این آزمایش چکشی با وزن معلوم از یک ارتفاع مشخص با حرکتی پاندولی ناگهان به نمونه برخورد می کند و انرژی لازم برای شکستن نمونه اندازه گیری می‌شود.به این طریق می توان رفتار فلز را در برابر نیروی ضربه بررسی نمود.عواملی که در آزمایش استحکام ضربه نتایج آزمایش را به شدت تحت تاثیر قرار می دهند عبارتند از:

۱ -شکل و اندازه نمونه

۲ -نوع و عمق شیار

۳ -درجه حرارت نمونه

عامل درجه حرارت بسیار مهم است زیرا فلز در درجه حرارت بالا نرم می شود بنابراین برای شکست آن انرژی بیشتری لازم است.به عبارت دیگر بیشتر فلزها در درجه حرارت‌های پایین، ترد و شکننده هستند و با افزایش درجه حرارت انعطاف فلز نیز زیاد می‌شود.در شکل زیر برای سه نمونه مختلف تغییر انرژی شکست برحسب درجه حرارت نشان داده شده است.



شکل(۱) نمایش ارتباط انرژی شکست با درجه حرارت

به درجه حرارتی که در آن فلز از حالت ترد به حالت نرم تبدیل می گردد درجه حرارت تبدیل گفته می شود.در نمونه B درجه حرارت تبدیل مشخص است ولی در A و C تغییر از حالت ترد به حالت نرم تدریجی است.در این حالت معمولاً درجه حرارت متوسط را درجه حرارت تبدیل در نظر می گیرند.عوامل متالورژیکی مختلفی بروی درجه حرارت تبدیل تأثیر دارند.این عوامل عبارتند از:

۱- تغییرترکیب شیمیایی: به عنوان مثال فسفر در فولاد نرم، دمای تبدیل را افزایش می دهد.

۲- تغییر میکروسکوپی: به عنوان مثال افزایش اندازه دانه سبب می‌شود دمای کاهش یابد.

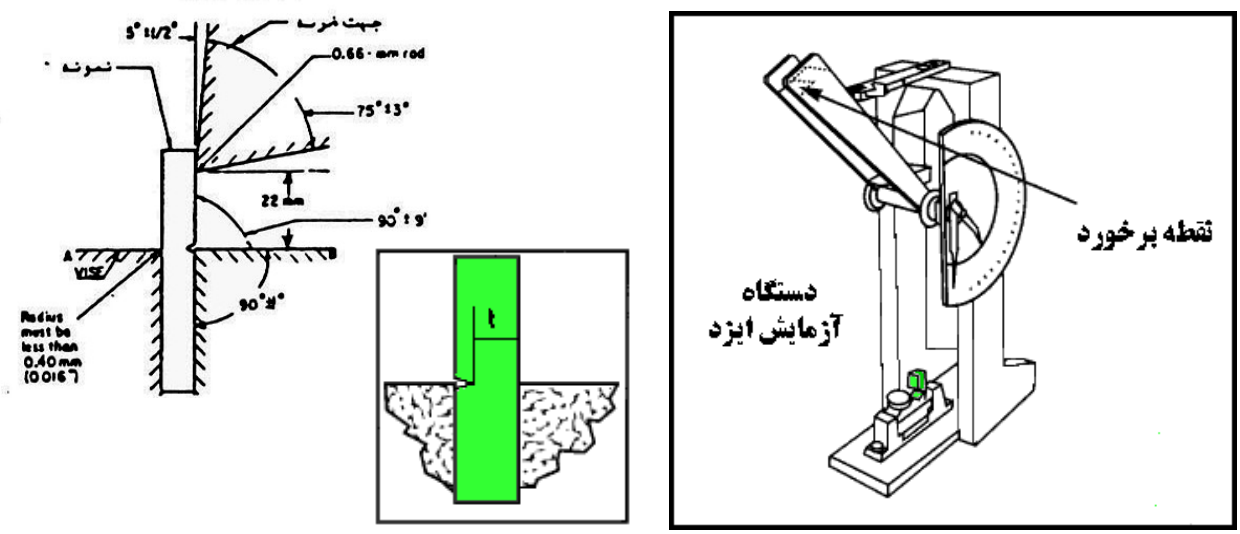
آزمایش ضربه به دو روش انجام می‌گردد:

۱ -آزمایش ضربه ایزُد (Izod Impact Test)

۲- آزمایش ضربه شارپی (Charpy Impact Test)

۱ -۱)آزمایش ضربه ایزُد

دستگاه آزمایش ایزُد دارای چکش سنگینی است که به صورت پاندولی با انرژی اولیه ۱۵ کیلوگرم متر به نمونه برخورد می کند.انرژی جذب شده به وسیله نمونه توسط عقربه نشان داده می شود.

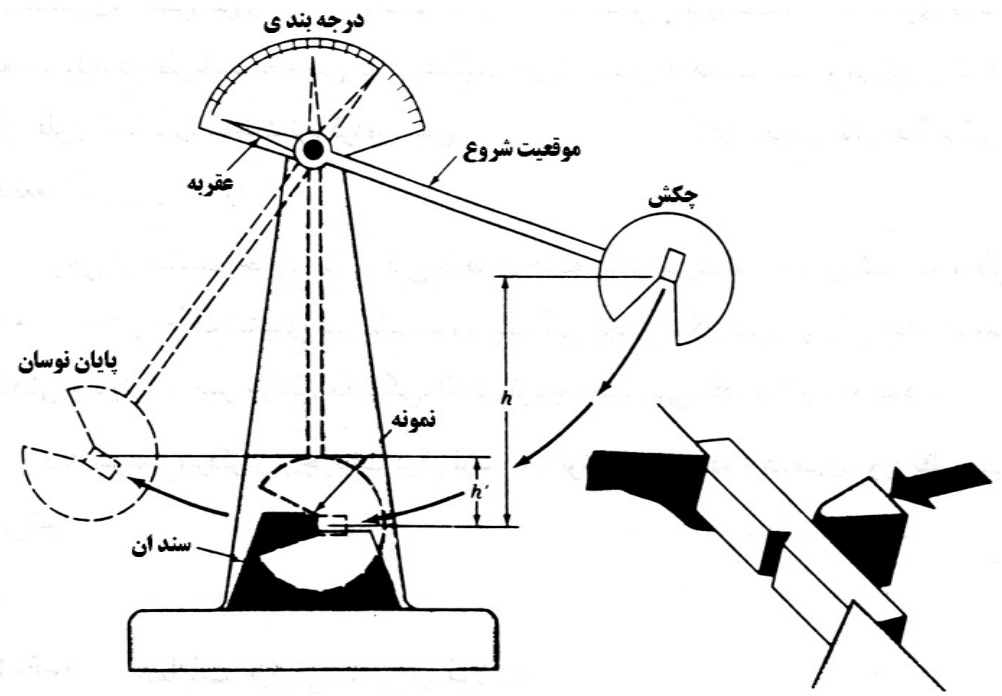


شکل(۲) شماتیک دستگاه و نحوه‌ی قرار گرفتن نمونه در روش ایزد

در روش ایزُد، نمونه به صورت عمودی و به مانند تیر یک سر گیردار در تکیه گاه قرار می‌گیرد و ضربه از سمتی که شیار بروی نمونه ایجاد شده است وارد می گردد.این روش آزمایش بیشتر در اروپا متداول است.

۲ -۱)آزمایش ضربه شارپی

در این آزمایش چکش سنگینی با انرژی در حدود ۳۰ کیلوگرم متر به نمونه‌ی آزمایش که به صورت تیر دو سر ساده روی دو پایه قرار گرفته است بر خورد می‌نماید.مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه از روی صفحه مدرج دستگاه یا به کمک نرم افزار رایانه ای آن تعیین می گردد.



شکل(۳) شماتیکی از آزمایش ضربه شارپی و نحوه‌ی قرار گرفتن نمونه در دستگاه

۱- ۲ -۱)روش آزمایش ضربه شارپی

دستگاه آزمایش موجود در آزمایشگاه از نوع ضربه شارپی است که برای تعیین انرژی شکست دارای یک نرم افزار رایانه ای ساده است.روش انجام آزمایش با این دستگاه به شرح زیر است:

۱- نمونه را برابر با نقشه شکل ۳ آماده کنید.

۲ -نمونه را طوری بین فکهای دستگاه قرار دهید که نوک پاندول دقیقا در پشت شیار موجود در نمونه با آن مماس شود در این حالت دکمه **Zero** نرم افزار را کلیک کنید.

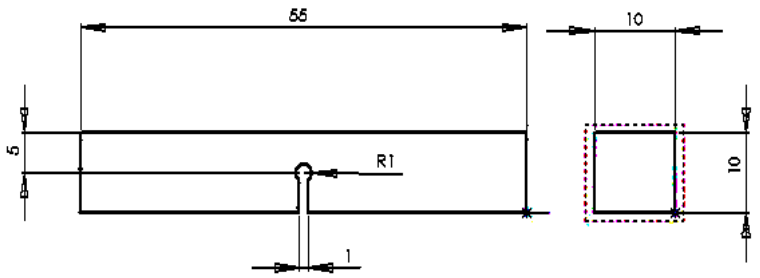
۳ -پاندول را بالا آورده قفل کنید و سپس دکمه **Hold** نرم افزار را انتخاب نمایید.

۴ -از مسیر پاندول دور شوید و قفل آن را آزاد کنیدتا پاندول به نمونه برخورد کرده آن را نصف کند.

۵ -مقادیر انرژی ضربه، زاویه ثانویه و انرژی ثانویه بطور خودکار بروی نرم افزار نشان داده می شوند.

۶ -مقدار عددی که در بخش **Impact Energy** دیده می شود همان انرژی است که صرف شکست نمونه شده است که باید از انرژی اصطکاک دستگاه کم شود.برای تعیین انرژی اصطکاک دستگاه به بخش ۴ مراجعه نمایید.

نکته: اگر اولین بار است که از دستگاه استفاده می شود باید برابر آنچه در بخش ۲ -۲ آمده است دستگاه را کالیبره و انرژی اصطکاک آن را تعیین نمود.



شکل(۴) نقشه نمونه‌ی مربوط به آزمون ضربه

۲ -۲ -۱)بررسی رابطه انرژی شکست

فرض کنید چکش از نقطه‌ی **A** رها شود و پس از برخورد به نمونه در محل **B** قرار گیرد.اگر وزن محور چکش ($m_1 \times g$) و وزن چکش ($m_2 \times g$) باشد انرژی پتانسیل در موقعیتهای **A** و **B** عبارتند از:

$$U_A = m_1 g \times \frac{L}{2} \times \{\sin(\theta_1 - 90) + 1\} + m_2 g(L + r)\{\sin(\theta_1 - 90) + 1\}$$

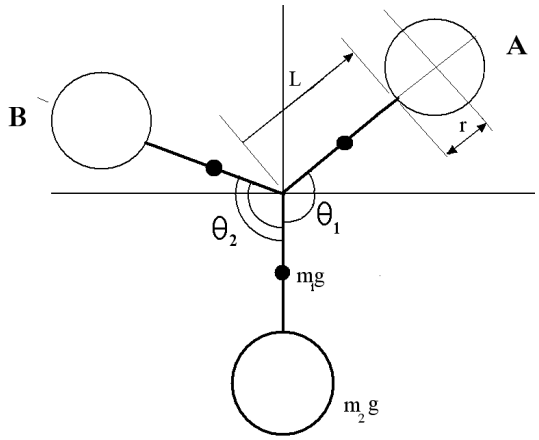
$$U_B = m_1 g \times \frac{L}{2} \times \{\sin(\theta_2 - 90) + 1\} + m_2 g(L + r)\{\sin(\theta_2 - 90) + 1\}$$

در این صورت انرژی شکست از تفریق این دو انرژی به دست می آید: $U = U_A - U_B$

با توجه به اینکه قطعه های دستگاه آزمایش دارای اصطکاک هستند بخشی از انرژی شکست صرف مقابله با اصطکاک می گردد که باید از **U** کم شود.برای این کار یک بار پاندول را بدون قرار دادن نمونه رها می کنند و زاویه ثانویه یعنی θ_3 را در این حالت تعیین می نمایند.رابطه زیر انرژی شکست را با در نظر گرفتن انرژی اصطکاک دستگاه بر حسب ژول محاسبه می کند:

$$U = (\cos\theta_2 - \cos\theta_3)(\frac{1}{2} m_1 g L + m_2 g(L + r) + 2 m_3 g(L + s))$$

چنانچه انرژی را بر سطح نمونه تقسیم نماییم مقاومت جسم در برابر ضربه به‌دست خواهد آمد که برابر است با: $k = \frac{U}{A}$



شکل (۵) بررسی رابطه انرژی شکست

۲)جزئیات نرم افزار دستگاه آزمایش ضربه شارپی

در قسمت منوی نرم افزار سه گزینه File, Setting, About وجود دارد که به شرح آنها می پردازیم:

الف - گزینه File دارای دستورهای Load (بازخوانی اطلاعات ذخیره شده)، Save (ذخیره کردن اطلاعات جدید) و Exit (خروج از نرم افزار) می باشد.

ب -گزینه Setting دارای دستور Specification است که در صفحه اصلی نیز وجود دارد و نشان دهنده اطلاعات مربوط به نمونه آزمایش و اطلاعات مربوط به اپراتور می باشد که قابل ذخیره کردن هستند. دستور Calibration که یکی از مهمترین قسمتهای نرم افزار است در ادامه بطور کامل توضیح داده می شود.

ج -گزینه About مشخصات و اطلاعات مربوط به این نرم افزار را نشان می دهد.

۱-۲)بخشهای صفحه نرم افزار

این بخشها به ترتیب عبارتند از:

Current Angle زاویه ای است که توسط حس گر دستگاه، لحظه به لحظه درج می شود.

First Angle زاویه حالت رفت پاندول است که در حقیقت همان زاویه اولیه ای می باشد که توسط انکودر(حس گر حرکت) در قسمت Current Angle مشاهده می شود.

First Energy انرژی اولیه که توسط زاویه اولیه بر حسب ژول محاسبه و در اینجا درج می گردد.

Friction Energy انرژی اصطکاک است که از طریق محاسبه بدست می آید.

Second Angle زاویه ثانویه که پس از ضربه پاندول توسط انکودر به صورت خودکار درج می گردد.

Second Energy انرژی ثانویه ای که توسط زاویه ثانویه محاسبه و درج می گردد.

Impact Energy که مقدار نهایی انرژی ضربه برای نمونه شکسته شده است.

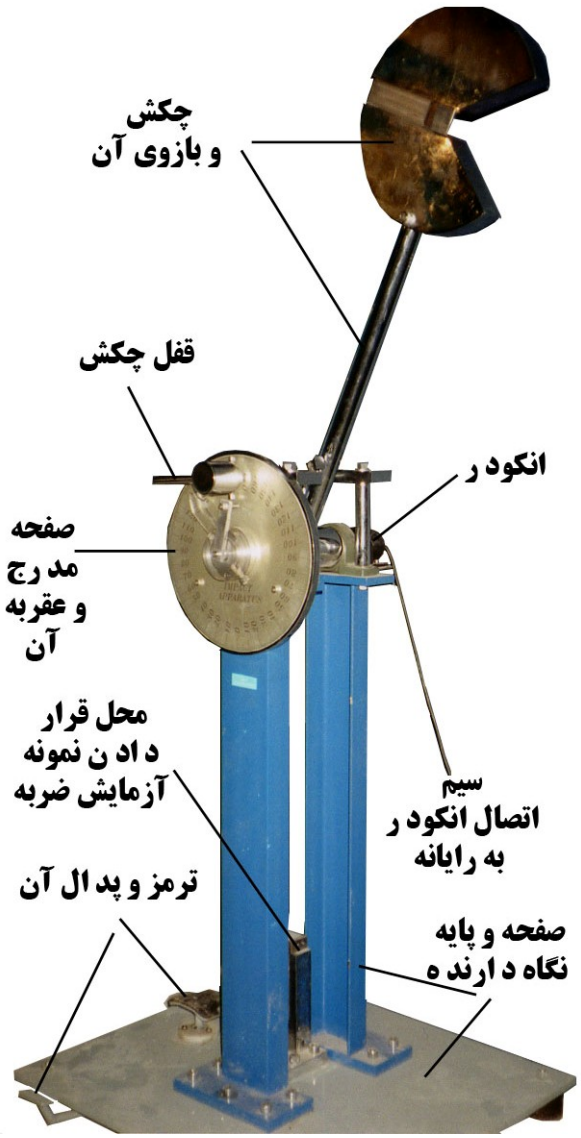
۲-۲)طرز کار با نرم افزار دستگاه آزمایش تست ضربه

الف -کالیبره کردن نرم افزار: ابتدا پاندول را بدون قرار دادن نمونه در حالت عمود بر سطح افق قرار دهید تا پاندول و عدد Current Angle نرم افزار ثابت بماند.در این حالت دکمه Zero را کلیک کنید تا عدد زاویه صفر شود.سپس عقربه دستگاه را روی عدد صفر قرار دهید تا به پیچ راهنما کاملا مماس گرد.پاندول را بالا بکشید و قفل کنید.عقربه را مجدداً به پیچ راهنما مماس نموده، زاویه ای را که عقربه نشان می دهد بخوانید.چنانچه زاویه ای که عقربه نشان می دهد با زاویه Current Angle مساوی باشد دستگاه کالیبره است در غیر این صورت دکمه Calibration روی صفحه نرم افزار را کلیک کنید و عدد Angle Calibration را آن قدر تغییر دهید تا با زاویه نشان داده شده توسط عقربه مساوی گردد سپس دکمه OK را کلیک کنید.این کار فقط یک بار انجام می شود و عدد بدست آمده در قسمت Angle Calibration یادداشت می گردد تا اگر مشکلی در نرم افزار حاصل شد بعداً همین عدد وارد شود.

ب -محاسبه انرژی اصطکاک: پس از کالیبره نمودن دستگاه باید انرژی اصطکاک محاسبه شود.این کار نیز تنها یک بار انجام می گردد.برای محاسبه انرژی اصطکاک پاندول را در حالت عمود بر سطح افق قرار دهید و در قسمت Calibration برای Friction Energy عدد صفر را وارد نمایید.دکمه Zero را کلیک کنید و پاندول را بالا کشیده قفل نمایید.سپس دکمه Hold را انتخاب کنید.در این حالت باید مقدار زاویه First Angle و Current Angle مساوی باشد.همچنین در بخش First Energy عددی دیده می شود و مقدار Friction Energy صفر است.در این حالت اهرم آزاد کننده قفل را حرکت دهید تا پاندول رها شود.پس از رها شدن پاندول و هنگام برگشت آن،

پدال ترمز را فشار دهید تا پاندول متوقف گردد.در قسمتهای Second Angle و Second Energy اعدادی دیده می شوند.همچنین در قسمت Impact Energy عددی مشاهده می گردد.با توجه بـه اینکه در مقابل پاندول نمونه ای برای شکست جود نداشته، تمام انرژی صرف مقابله با اصطکاک شده است در نتیجه عدد نشان داده شده در قسمت Impact Energy را در بخـش Friction Energy که در صفحه Calibration می باشد وارد کنید و دکمه OK را انتخاب نمایید.

پس از کالیبره کردن زاویه نرم افزار، جرم دیسک پاندول که بروی پاندول حک شده است را در بخش Mass of disk (جرم دیسک) و وزن محور پاندول را در بخش Mass of Shaft (جرم محـور) وارد کنید.همچنین شعاع دیسک و طول محور پاندول را اندازه گرفته به ترتیب در بخشـهای Radius of disk (شعاع دیسک) و Length of shaft (طول محور) وارد کنید.



شکل(۶)دستگاه آزمایش ضربه شارپی آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۵ : آزمایش ضربه شارپی برای نمونه آلومینیمی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -پس از انجام آزمایش جدول زیر را با توجه به نرم افزار دستگاه کامل کنید.

θ_1 First Angle	θ_2 Second Angle	U_A First Energy	U_B Second Energy	U_F Friction Energy	$U_A - U_B$ Impact Energy	$k = \frac{U}{A}$

۲ -انرژی شکست را به کمک رابطه داده شده محاسبه نمایید و جدول زیر را کامل کنید.

وزن چکش=

وزن محور =

قطر دایره چکش =

قطر محور =

طول محور =

θ_1	θ_2	U_A	U_B	$U_A - U_B$	$k = \frac{U}{A}$

۳ -مقدار انرژی شکست حاصل از نرم افزار در قسمت ۱ را با انرژی شکست حاصل از محاسبه در قسمت ۲ مقایسه نمایید.در صورت وجود خطا علت را بررسی نمایید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۶ : آزمایش ضربه شارپی برای نمونه برنجی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -پس از انجام آزمایش جدول زیر را با توجه به نرم افزار دستگاه کامل کنید.

θ_1 First Angle	θ_2 Second Angle	U_A First Energy	U_B Second Energy	U_F Friction Energy	$U_A - U_B$ Impact Energy	$k = \frac{U}{A}$

۲ -انرژی شکست را به کمک رابطه داده شده محاسبه نمایید و جدول زیر را کامل کنید.

وزن چکش=

وزن محور =

قطر دایره چکش =

قطر محور =

طول محور =

θ_1	θ_2	U_A	U_B	$U_A - U_B$	$k = \frac{U}{A}$

۳ -مقدار انرژی شکست حاصل از نرم افزار در قسمت ۱ را با انرژی شکست حاصل از محاسبه در قسمت ۲ مقایسه نمایید.در صورت وجود خطا علت را بررسی نمایید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۷ : آزمایش ضربه شارپی برای نمونه آهنی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -پس از انجام آزمایش جدول زیر را با توجه به نرم افزار دستگاه کامل کنید.

θ_1 First Angle	θ_2 Second Angle	U_A First Energy	U_B Second Energy	U_F Friction Energy	$U_A - U_B$ Impact Energy	$k = \frac{U}{A}$

۲ -انرژی شکست را به کمک رابطه داده شده محاسبه نمایید و جدول زیر را کامل کنید.

وزن چکش=

وزن محور =

قطر دایره چکش =

قطر محور =

طول محور =

θ_1	θ_2	U_A	U_B	$U_A - U_B$	$k = \frac{U}{A}$

۳ -مقدار انرژی شکست حاصل از نرم افزار در قسمت ۱ را با انرژی شکست حاصل از محاسبه در قسمت ۲ مقایسه نمایید.در صورت وجود خطا علت را بررسی نمایید.

آموزشکده فنی شهید بهشتی کرج

آزمایشگاه مقاومت مصالح

کاربرگ شماره ۱۸ : آزمایش ضربه شارپی برای نمونه مسی

نام و نام خانوادگی : ---------- تاریخ اجرای آزمایش : ----------

۱ -پس از انجام آزمایش جدول زیر را با توجه به نرم افزار دستگاه کامل کنید.

θ_1 First Angle	θ_2 Second Angle	U_A First Energy	U_B Second Energy	U_F Friction Energy	$U_A - U_B$ Impact Energy	$k = \frac{U}{A}$

۲ -انرژی شکست را به کمک رابطه داده شده محاسبه نمایید و جدول زیر را کامل کنید.

وزن چکش=

وزن محور =

قطر دایره چکش =

قطر محور =

طول محور =

θ_1	θ_2	U_A	U_B	$U_A - U_B$	$k = \frac{U}{A}$

۳ -مقدار انرژی شکست حاصل از نرم افزار در قسمت ۱ را با انرژی شکست حاصل از محاسبه در قسمت ۲ مقایسه نمایید.در صورت وجود خطا علت را بررسی نمایید.

بخش پنجم

پیوست

آزمایش مواد

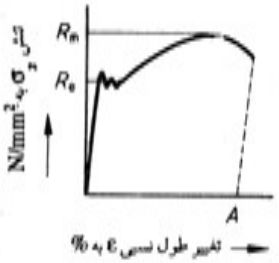
آزمایش کشش

مقایسه با DIN 50 145 (5.75)

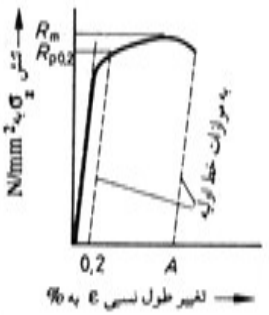
هدف : تعیین رفتار مواد تحت تنش کششی

اجرا: قطعه آزمایشی تا شکست تحت تنش کششی قرار داده میشود. تغییرات تنش کششی و در صد تغییر طول نسبی در یک نمودار درج می شود. استحکام کششی R_m ، در صد تغییر طول نسبی شکست A محاسبه و حد تنش تسلیم R_e یا تنش تسلیم معادل $R_{p0,2}$ درصد تغییر طول نسبی شکست ازدیاگرام به دست می آید .

نمودار تنش - تغییر طول نسبی با حد تنش تسلیم مشخص ، مثلا برای فولادهای نرم



نمودار تنش - تغییر طول نسبی بدون تنش مشخص ، مثلا فولاد سخت



F	نیروی کششی	ε	در صد تغییر طول نسبی
F_m	حداکثر نیروی کششی	A	در صد تغییر طول نسبی شکست
L	طول اندازه گیری	A_5	درصد تغییر طول نسبی شکست در قطعه آزمایشی متناسب یعنی $L_0 = 5 \cdot d_0$
L_0	طول اولیه		
L_u	طول نهایی بعد از شکست	Z	در صد گلویی شدن شکست
d_0	قطر اولیه	σ_z	تنش کششی
S_0	سطح مقطع اولیه قطعه آزمایشی	R_m	استحکام کششی
S_u	کوچکترین سطح مقطع بعد از شکست	R_e	تنش تسلیم
		$R_{p0,2}$	تنش تسلیم معادل 0,2 در صد تغییر طول نسبی
		E	مدول الاستیسیته

مثال : در قطعه آزمایشی متناسب $F_m = 340\ kN$; $d_0 = 25\ mm$

$L_0 = 125\ mm$; $L_u = 143\ mm$; $R_m = ?$; $A = ?$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (25\ mm)^2}{4} = 490{,}9\ mm^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{340\,000\ N}{490{,}9\ mm^2} = 692{,}6\ \frac{N}{mm^2}$$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\ \% = \frac{143\ mm - 125\ mm}{125\ mm} \cdot 100\ \% = 14{,}4\ \%$$

درصد تغییر طول نسبی

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100\ \%$$

در صد تغییر طول نسبی شکست

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\ \%$$

در صد گلویی شدن شکست

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\ \%$$

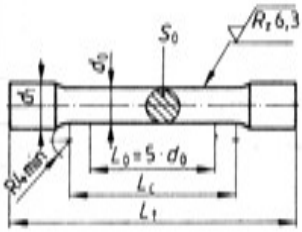
مدول الاستیسیته

$$E = \frac{\sigma_z}{\varepsilon} \cdot 100\ \%$$

قطعات آزمایشی

مقایسه با DIN 50 125 (3.86)

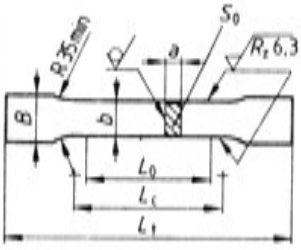
فرم A



قطعات آزمایشی با سطح مقطع گرد یا کلگی استوانه ای پرداخت شده (فرم A) یا کلگی پیچی

d_0		3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	25
L_0		15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125
L_c min		18	24	30	36	48	60	72	84	96	108	120	150
فرم A	d_1	4	5	6	8	10	12	15	17	20	22	24	30
	L_t min	50	65	80	95	115	140	160	185	205	230	250	300
فرم B	d_1	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M18	M20	M24	M27	M30	M33
	L_t min	32	40	50	60	75	90	110	125	145	160	175	220

فرم E



قطعات آزمایشی با سطح مقطع تخت (فرم E)

a	3	4	5	5	6	7	8	10	10	12	15	18
b	8	10	10	16	20	22	25	25	30	26	30	30
L_0	30	35	40	50	60	70	80	90	100	100	120	130
B min	12	15	15	22	27	29	33	33	40	34	40	40
L_c min	38	45	50	65	80	90	105	115	125	125	150	160
L_t min	115	135	140	175	210	230	260	270	300	295	320	335

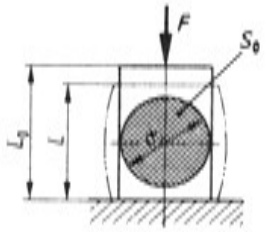
مشخصه قطعه آزمایشی فرم A با قطر $d_0 = 10\ mm$ و طول اولیه $L_0 = 50\ mm$

DIN 50 125 - A 10 × 50 قطعه آزمایش کششی

آزمایش مواد

آزمایش فشار

مقایسه با DIN 50 106 (12.78)



هدف : تعیین رفتار مواد تحت تنش فشاری

اجرا: قطعه آزمایشی تامرحله شکست ،پارگی و یا پهن شدن آن فشار داده می شود . ارزیابی آزمایش مانند آزمایش کشش می باشد.

L_0	طول اولیه	F_m	نیروی فشاری شکست
L	طول اندازه گیری بعد از آزمایش		یا پهن شدگی
S_0	سطح مقطع اولیه	σ_{dB}	استحکام فشاری
		ε_{dB}	در صد تغییر طول نسبی شکست

استحکام فشاری

$$\sigma_{dB} = \frac{F_m}{S_0}$$

در صد تغییر نسبی شکست

$$\varepsilon_{dB} = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100\ \%$$

مثال : $S_0 = 201\ mm^2$; $F_m = 93{,}5\ kN$; $L_0 = 24\ mm$
$L = 17{,}6\ mm$; $\sigma_{dB} = ?$; $\varepsilon_{dB} = ?$

$$\sigma_{dB} = \frac{F_m}{S_0} = \frac{93\,500\ N}{201\ mm^2} = 465\ mm^2$$

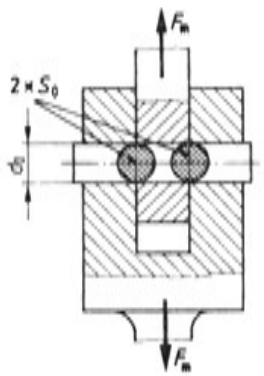
$$\varepsilon_{dB} = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100\% = \frac{24\ mm - 17{,}6\ mm}{24\ mm} \cdot 100\% = 26{,}67\%$$

برای St و GG :
$d_0 = 10...30\ mm$
$L_0 = 1{,}5\ mm \cdot d_0$

برای فلزات پاتاقان
$d_0 = L_0 = 20\ mm$

آزمایش برش (قیچی)

مقایسه با DIN 50 141 (1.82)



هدف : تعیین استحکام برشی

اجرا: قطعه استوانه ای در دو سطح مقطع بریده می شود. حداکثر نیروی برشی F_m اندازه گیری و استحکام قیچی τ_{aB} محاسبه می شود.

d_0	قطر قطعه آزمایشی	F_m	نیروی ماکزیمم
S_0	سطح مقطعه اولیه	τ_{aB}	استحکام برشی

استحکام برشی

$$\tau_{aB} = \frac{F_m}{2 \cdot S_0}$$

مثال: $F_m = 19{,}9\ kN$; $d_0 = 6\ mm$; $\tau_{aB} = ?$

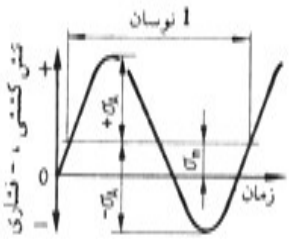
$$\tau_{aB} = \frac{F_m}{2 \cdot S_0} = \frac{19\,900\ N}{2 \cdot \frac{\pi \cdot (6mm)^2}{4}} = 352\ \frac{N}{mm^2}$$

آزمایش خستگی

مقایسه با DIN 50 100 (2.78)

هدف : تعیین رفتار مواد در بار گذاری دینامیکی

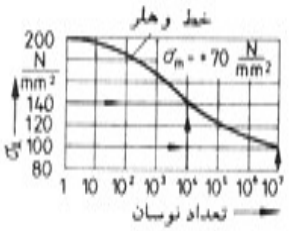
اجرا: قطعه آزمایشی با سطح مقطع گرد تا زمان شکست تحت تنش دو طرفه σ_A حول تنش میانگین σ_m قرار گیرد . تنش دو طرفه σ_A از یک قطعه به قطعه دیگر آزمایشی طوری انتخاب شود تا هیچگونه شکستی روی ندهد.



استحکام خستگی

$$\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_A$$

σ_D	استحکام خستگی
$\sigma_{D(10^x)}$	استحکام زمانی (تنشی که بعد از 10^x بار نوسان منجر به شکست شود)
σ_m	مقدار میانگین تنش دینامیکی
σ_A	تنش دو طرفه ، اندازه گیری شد نسبت به σ_m



مثال: از نمودار و هلر (Wöhler) رو برو مقادیر زیر به دست می آید:

$$\sigma_D = +70 \pm 100\ N/mm^2\ ; \qquad \sigma_{D(10^4)} = +70 \pm 140\ N/mm^2$$

توضیح : در تنش متغیر $170 N/mm^2$ کششی و $30 N/mm^2$ فشاری در صورت اعمال بی نهایت نوسان هیچ گونه شکستی روی نمی دهد. در صورتی که تنش متغیر $210\ N/mm^2$ کششی و $70\ N/mm^2$ فشاری اعمال شود شکست بعد از 10^4 بار نوسان انتظار می رود.

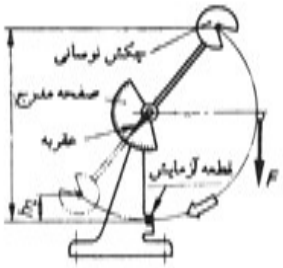
آزمایش مواد

آزمایش ضربه - شکاف

مقایسه با DIN 50 115 (2.75)

هدف : ارزیابی رفتار شکست مواد در دماهای مختلف

اجرا: مقدار کار ضربه به کار رفته اندازه گیری شده و درارتباط با دما در یک نمودار درج می شود.

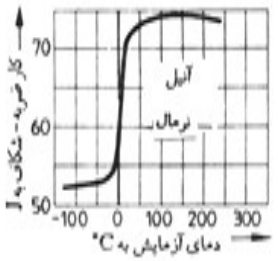


کارضربه - شکاف

$$W_V = F \cdot (h_1 - h_2)$$

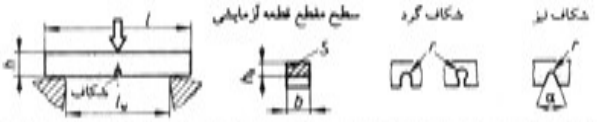
h_1 ارتفاع پاندول قبل از آزمایش F نیروی چکش پاندول

h_2 ارتفاع پاندول بعد از آزمایش W_V کار ضربه شکاف



نمودار کارضربه شکاف - دما

ابعاد قطعه آزمایش ضربه - شکاف



علامت کوتاه	شکل شکاف	l mm	b mm	h mm	h_k mm	r mm	α °	S mm^2	l_w mm
ISO - V	تیز	55	10	10	8	0,25	45	0,80	40
DMV [2]	گرد	55	10	10	7	1,0	–	0,70	40

مشخصه کار ضربه - شکاف برابر 90J در قطعه آزمایشی شکاف تیز اندازه گیری شده است :

W_V(ISO - V) = 90J

۱) کارضربه به شکاف W_V از روی صفحه مدرج خوانده می شود .

۲) اتحادیه آلمانی آزمایش مواد (DMV Deutscher Verband für Materialprüfung)

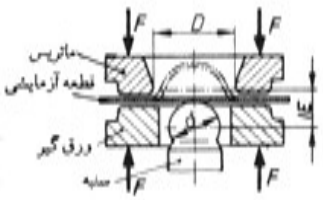
آزمایش کشش عمیق طبق اریکسن

مقایسه با (9.79) DIN 50 101 ، 50 102

هدف : تعیین قابلیت کشش عمیق ورقها و تسمه ها با ضخامت 0,2...3 mm

اجرا: سنبه تجهیزات تا پاره شدن ورق روی ورق فشار اعمال می کند. عمق نفوذ به دست آمده در آن لحظه عمق اریکس IE می باشد.

حداقل مقادیر کشش عمیق ورقها و تسمه ها در صفحه ۱۲۱ آمده است .



D قطر سوراخ ماتریس

d قطر گوی سنبه

F نیروی ورق گیر

علامت کوتاه	شماره DIN	دستگاه آزمایش D mm	d mm	F kN	اندازه قطعه آزمایشی طول mm	عرض mm	ضخامت mm
IE	50 101 T1	27	20	10	90...270	90...100	0,2...2
IE_{40}	50 101 T2	40	20	10	90...400	90...100	2...3
IE_{21}	50 102	21	15	10	55...270	55...90	0,2...2
IE_{11}		11	8	10		30...55	0,2...1

مشخصه کشش عمیق اریکسن طبق DIN 50 101 T1 به اندازه 12 mm : IE = 12 mm

مشخصه کشش عمیق اریکسن طبق DIN 50 101 T2 به اندازه 12 mm : IE_{40} = 16 mm

آزمایش خمش

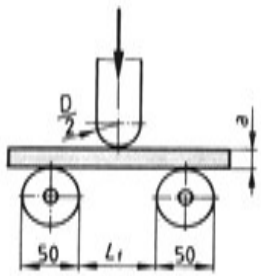
مقایسه با DIN 50 111 (9.87)

هدف : تعیین قابلیت شکل دادن فلزات

اجرا: قطعه آزمایش تا حدی خمکاری می شود که زاویه مطلوب خمکاری α حاصل شده و یا توانایی خمکاری آن پایان پذیرد ، به طوری که در آن ترک ایجاد شود.

سنبه خمکاری : شعاع گردی D/2 بستگی به اندازه a و شرایط فنی تحویل مواد مورد آزمایش دارد.

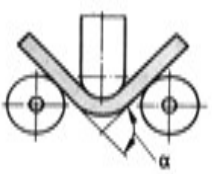
قبل از آزمایش



$L_t = D + 3 \cdot a$

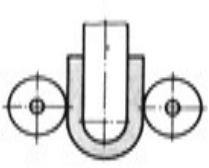
رسیدن به زاویه خمکاری

α

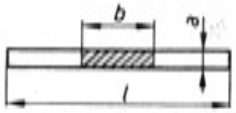


خمکاری تا

$\alpha = 180°$



شکل قطعه آزمایشی



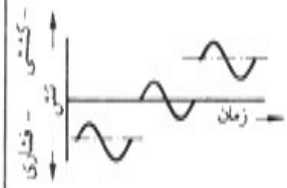
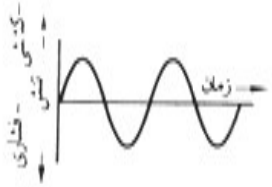
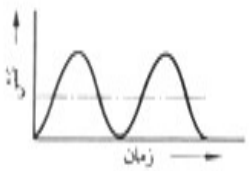
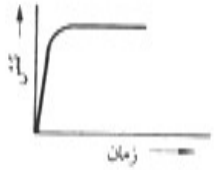
$a \leq 25$ mm

$b = 20...50$ mm

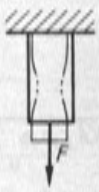
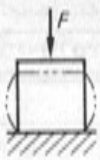
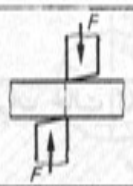
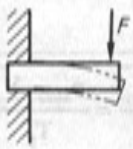
$l \geq L_t + 100$ mm

مقاومت مصالح

نحوه بارگذاری

بار گذاری دینامیکی			بار گذاری استاتیکی
عمومی	متغیر کششی - فشاری	متغیر کششی	ساکن
			
نوع بارگذاری III	نوع بارگذاری III	نوع بارگذاری II	نوع بارگذاری I
بارگذاری بین دو مقدار حداکثر و حداقل دلخواه تغییر می کند.	بارگذاری بین دو مقدار حداکثر مثبت و حداقل منفی تغییرمی کند.	بارگذاری به حداکثر مقدار خود رسیده و دوباره به صفرکاهش می یابد	اندازه و جهت بار گذاری ثابت است.

انواع بارگذاری و مقادیر مقاومت مصالح

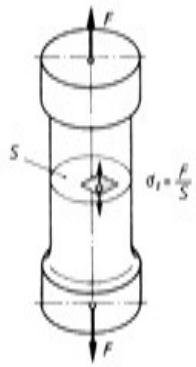
نوع تنش	مقدار مشخصه مواد			تنش حدی مهم σ_{lim} برای نوع بار گذاری		
	تنش	استحکام	مقدار حدی تغییر شکل خمیری	I	II	III
کششی 	تنش کششی σ_z	استحکام کششی R_m	استحکام حد تناسب کششی R_e - حد 0,2 % پارگی $R_{p0,2}$	مواد ترد (چدن) R_m / چقرمه (فولاد) R_e $R_{p0,2}$	استحکام متغیر کششی σ_{zSch}	استحکام متغیر کششی σ_{zW}
فشاری 	تنش فشاری σ_d	استحکام فشاری R_{dB}	استحکام حد تناسب فشاری σ_{dP} - حد 0,2 % پاشیدگی $\sigma_{d0,2}$	مواد ترد (GG) σ_{dB} / چقرمه (فولاد) σ_{Fd} $\sigma_{d0,2}$	استحکام متغیر فشاری σ_{dSch}	استحکام متغیر فشاری σ_{dW}
برشی 	تنش برش τ_a	استحکام برشی τ_{aB}	—	استحکام برشی τ_{aB}	—	—
خمشی 	تنش خمشی σ_b	استحکام خمشی σ_{bB}	حد خمشی σ_{bF}	حد خمشی σ_{bF}	استحکام خمشی متغیر مثبت σ_{bSch}	استحکام خمشی متغیر σ_{bW}
پیچشی	تنش پیچشی τ_t	استحکام پیچشی τ_{tB}	حد پیچش τ_{tF}	حد پیچش τ_{tF}	استحکام پیچشی متغیر مثبت τ_{tSch}	استحکام پیچشی متغیر τ_{tW}
کمانشی	تنش کمانشی σ_k	استحکام کمانشی σ_{kB}	—	استحکام کمانشی σ_{kB}	—	—

مقاومت مصالح

تنش کشی

$$\sigma_z = \frac{F}{S}$$

R_m استحکام کششی
R_e استحکام حد تناسب کششی
σ_z تنش کششی
$\sigma_{z\,zul}$ تنش مجاز کششی
F نیروی کششی
S مساحت سطح مقطع
ν ضریب اطمینان



برای فولاد

تنش مجاز کششی در نوع بارگذاری I

$$\sigma_{z\,zul} = \frac{R_e}{\nu}$$

برای چدن

$$\sigma_{z\,zul} = \frac{R_m}{\nu}$$

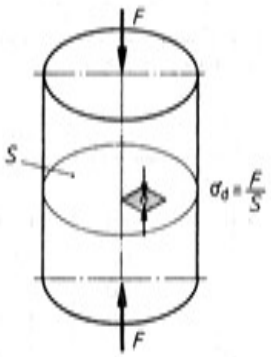
مثال : مفتول گرد 37-2 ; $F = 8{,}4$ kN ;
$\sigma_{z\,zul} = 80$ N / mm² ; d = ?

حل :

$$S = \frac{F}{\sigma_{z\,zul}} = \frac{8\,400\ \text{N}}{80\ \text{N/mm}^2} = 105\ \text{mm}^2 ;$$

d = 12 mm (طبق جدول)

تنش فشاری



تنش فشاری

$$\sigma_d = \frac{F}{S}$$

σ_d تنش فشاری
σ_{dF} استحکام حد تناسب فشاری
$\sigma_{d\,zul}$ تنش مجاز فشاری
R_m استحکام کششی
F نیروی فشاری
S مساحت سطح مقطع
ν ضریب اطمینان

برای فولاد

تنش مجاز فشاری در نوع بارگذاری I

$$\sigma_{d\,zul} = \frac{\sigma_{dF}}{\nu}$$

برای چدن

$$\sigma_{d\,zul} = \frac{4 \cdot R_m}{\nu}$$

مثال : پایه چدنی از GG – 30 ; $S = 2\,800$ mm² ;
$\nu = 2{,}5$; F = ?

حل :

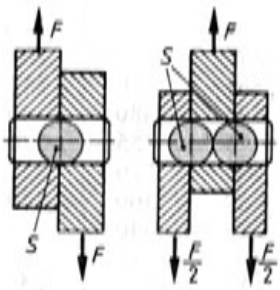
$$F = \sigma_{d\,zul} \cdot S = \frac{4 \cdot R_m}{\nu} \cdot S$$

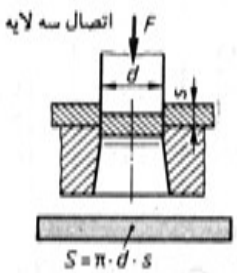
$$= \frac{4 \cdot 300\ \text{N/mm}^2}{2{,}5} \cdot 2\,800\ \text{mm}^2$$

$$= 1\,344\,000\ \text{N} \approx 1{,}3\ \text{MN}$$

تنش برشی، نیروی برشی

تحت تنش برشی





تنش برشی

$$\tau_a = \frac{F}{S}$$

τ_a تنش برشی
τ_{azul} تنش مجاز برشی
τ_{all} استحکام برشی
τ_{allmax} حداکثر استحکام کششی
R_m استحکام کششی
R_{mmax} حداکثر استحکام کششی
F نیروی برشی
S مساحت سطح مقطع
ν ضریب اطمینان

تنش مجاز برشی

$$\tau_{a\,zul} = \frac{\tau_{all}}{\nu}$$

نیروی برشی

$$F = S \cdot \tau_{azul}$$

مثال : اتصال میخ پرچی سه لایه با تعداد 6 میخ پرچ
$F = 18{,}8$ kN; $\tau_{a\,zul} = 80$ N/mm
d = ? (قطر میخ پرچ)

برای فولاد

استحکام برشی

$$\tau_{all} = 0{,}8 \cdot R_m$$

نیروی برشی

نیروی برش

$$F = S \cdot \tau_{allmax}$$

حداکثر استحکام برشی

$$\tau_{allmax} = 0{,}8 \cdot R_{m\,max}$$

حل :

$$S = \frac{F}{\tau_{azul}} = \frac{18\,800\ \text{N}}{80\ \text{N/mm}^2} = 235\ \text{mm}^2$$

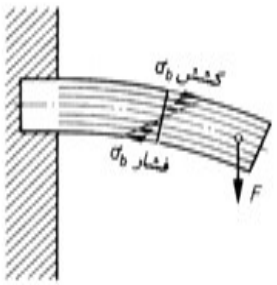
$$S_1 = \frac{S}{2 \cdot 6} = \frac{235\ \text{mm}^2}{12} = 19{,}6\ \text{mm}^2$$

d = 5 mm (طبق جدول)

مقاومت مصالح

تنش خمشی

در تنش خمشی ، قطعات تحت تنش کششی وفشاری قرار می گیرد ، تنش حداکثردر سطح بیرونی قطعات روی می دهد . این تنش نباید بیش از تنش مجاز خمشی باشد.



σ_b تنش خمشی
M_b گشتاور خمشی
W مدول سطحی محوری

تنش خمشی $\sigma_b = \dfrac{M_b}{W}$

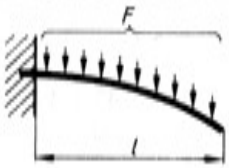
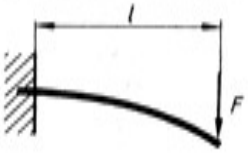
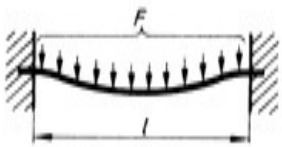
مثال : تیریک سردر گیر ، DIN 1025 - IPE 240 , $W = 324\ cm^3$
نیروی متمرکز $F=25\ kN$ ، $l=2{,}6\ m$; $\sigma_b = ?$

حل :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{F \cdot l}{W} = \frac{25\,000\ N \cdot 260\ cm}{324\ cm^3}$$

$$= 20\,061\ \frac{N}{cm^2} \approx 200\ \frac{N}{mm^2}$$

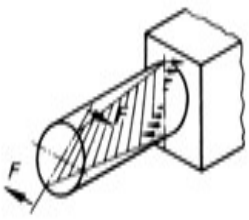
نحوه بارگذاری خمشی اجزاء ساختمانی

تیربا بارگذاری گسترده		تیربا بارگذاری متمرکز	
	یک سر درگیر $M_b = \dfrac{F \cdot l}{2}$		یک سر درگیر $M_b = F \cdot l$
	روی دو پایه $M_b = \dfrac{F \cdot l}{8}$		روی دو پایه $M_b = \dfrac{F \cdot l}{4}$
	دوسردرگیر $M_b = \dfrac{F \cdot l}{12}$		دوسردرگیر $M_b = \dfrac{F \cdot l}{8}$

تنش پیچشی

M گشتاور پیچشی
W_p مدول سطحی قطبی
τ_t تنش پیچشی

$$\tau_t = \frac{M}{W_p}$$



مثال : محور ، $d = 32\ mm$; $\tau_t = 65\ N/mm^2$; $M = ?$

حل :

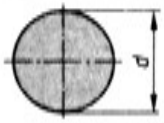
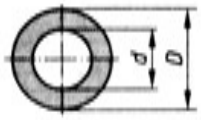
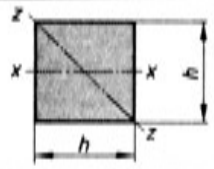
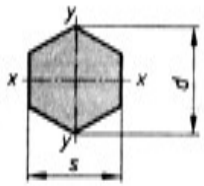
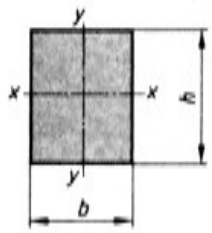
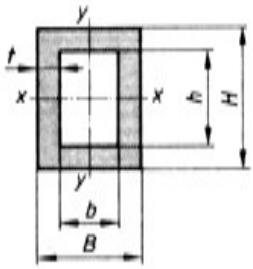
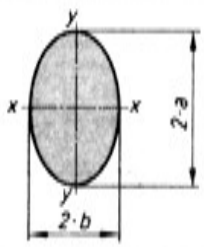
$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot (32\ mm)^3}{16} = 6\,434\ mm^3$$

$$M = \tau_t \cdot W_p = 65\ \frac{N}{mm^2} \cdot 6\,434\ mm^3$$

$$= 418\,210\ N \cdot mm \approx 418{,}2\ N \cdot m$$

مقاومت مصالح

ممان سطحی و مدول سطحی

شکل سطح مقطع	خمش، کمانش: ممان سطحی درجه 2، I	خمش، کمانش: مدول سطحی محوری، W	پیچش: مدول سطحی قطبی، W_p
	$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$	$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$
	$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$	$W = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$	$W_p = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}$
	$I_x = I_z = \frac{h^4}{12}$	$W_x = \frac{h^3}{6}$ $W_z = \frac{\sqrt{2} \cdot h^3}{12}$	$W_p = 0{,}208 \cdot h^3$
	$I_x = I_y = \frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot s^4}{144}$ $I_x = I_y = \frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot d^4}{256}$	$W_x = \frac{5 \cdot s^3}{48} = \frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot d^3}{128}$ $W_y = \frac{5 \cdot s^3}{24 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5 \cdot d^3}{64}$	$W_p = 0{,}188 \cdot s^3$ $W_p = 0{,}1226 \cdot d^3$
	$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$ $I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}$	$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$ $W_y = \frac{h \cdot b^2}{6}$	—
	$I_x = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12}$ $I_y = \frac{H \cdot B^3 - h \cdot b^3}{12}$	$W_x = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H}$ $W_y = \frac{H \cdot B^3 - h \cdot b^3}{6 \cdot B}$	$W_p = \frac{t \cdot (H + h) \cdot (B + b)}{2}$
	$I_x = \frac{\pi \cdot a^3 \cdot b}{4}$ $I_y = \frac{\pi \cdot b^3 \cdot a}{4}$	$W_x = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot b}{4}$ $W_y = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot a}{4}$	$W_p = \frac{\pi \cdot a \cdot b^2}{2}$ $a > b$

۱.مقدار مدول برشی(G) بر حسب Gpa برای برخی مواد

نوع ماده		مدول برشی (G) Gpa
پولاد	Steel	۷۹/۳
مس	Copper	۶۳/۴
تیتانیم	Titanium	۴۱/۴
شیشه	Glass	۲۶/۲
آلومینیم	Aluminum	۲۵/۵
پلی اتیلن	Polyethylene	۰/۱۱۷
لاستیک	Rubber	۰/۰۰۰۳

۲.مقدار تقریبی مدول الاستیسیته مواد جامد گوناگون بر حسب Gpa

نوع ماده	مدول الاستیسیته (E) GPa
لاستیک با کرنش کم Rubber (small strain)	۰/۱-۰/۰۱
پلی اتیلن با چگالی کم Low density polyethylene	۰/۲
پلی پروپیلن Polypropylene	۲ ۱/۵
پلی استایرن Polystyrene	۳/۵ ۳
نایلن Nylon	۳ ۷
چوب درخت بلوط Oak wood	۱۱
High-strength concrete (under compression) بتن با استحکام بالا تحت فشار	۳۰
منیزیم Magnesium metal (Mg)	۴۵
آلیاژ آلومینیم Aluminum alloy	۶۹
همه نوع شیشه Glass (all types)	۷۲
برنج و برنز Brass and bronze	۱۲۴-۱۰۳
تیتانیم Titanium (Ti)	۱۲۰-۱۰۵
آهن و پولاد نرم Wrought iron and steel	۲۱۰-۱۹۰
برلیم Beryllium (Be)	۲۸۷
تنگستن Tungsten (W)	۴۱۰-۴۰۰
کاربید سیلیسیم Silicon carbide (SiC)	۴۵۰
کاربید تنگستن Tungsten carbide (WC)	۶۵۰-۴۵۰
الماس Diamond (C)	۱۲۰۰ ۱۰۵۰

۳.ضریب پواسن برای مواد گوناگون

نوع ماده		ضریب پواسن
آلیاژ آلومینیم	aluminum-alloy	۰/۳۳
بتن	concrete	۰/۲۰
چدن	cast iron	۰/۲۱-۰/۲۶
شیشه	glass	۰/۲۴
مس	copper	۰/۳۳
منیزیم	magnesium	۰/۳۵
پولاد ضد زنگ	stainless steel	۰/۳۰-۰/۳۱
لاستیک	rubber	۰/۵۰
پولاد	steel	۰/۲۷-۰/۳۰
اسفنج	foam	۰/۱۰-۰/۴۰
تیتانیم	titanium	۰/۳۴

۴.استحکام تسلیم، استحکام نهایی و چگالی برخی مواد(این مقادیر به فرایند ساخت، درجه خلوص و ترکیب مواد بستگی دارد.)

نوع ماده	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام نهایی (MPa)	چگالی (g/cm^3)
آهن ساختمانی(پایه) Structural steel ASTM A36 steel	۲۵۰	۴۰۰	۷/۸
آلیاژ استحکام بالای پولاد Steel, high strength alloy ASTM A514	۶۹۰	۷۶۰	۷/۸
پلی اتیلن با چگالی بالا High density polyethylene (HDPE)	۲۶-۳۳	۳۷	۰/۹۵
پلی پروپیلن Polypropylene	۱۲-۴۳	۱۹/۷-۸۰	۰/۹۱
پولاد ضد زنگ Stainless steel AISI 302 - Cold-rolled	۵۲۰	۸۶۰	-
چدن Cast iron 4.5% C, ASTM A-48	۲۷۶	۲۰۰	-
آلیاژ آلومینیم Aluminum Alloy 2014-T6	۴۰۰	۴۵۵	۲/۷
مس Copper 99.9% Cu	۷۰	۲۲۰	۸/۹۲
برنج Brass	تقریبا ۱۸۰	۲۵۰	-
شیشه Glass	-	۵۰ (تحت فشار)	۲/۵۳
بتن Concrete	-	۳	-
لاستیک Rubber	-	۱۵	-
مواد در شرایط سخت شده	مدول الاستیسیته(GPa)	استحکام تسلیم(MPa)	استحکام نهایی(MPa)
آلومینیم Aluminum	۷۰	۱۵-۲۰	۴۰-۵۰
مس Copper	۱۳۰	۳۳	۲۱۰
طلا Gold	۷۹	-	۱۰۰
آهن Iron	۲۱۱	۸۰-۱۰۰	۳۵۰
سرب Lead	۱۶	-	۱۲
نیکل Nickel	۱۷۰	۱۴-۳۵	۱۴۰-۱۹۵
قلع Tin	۴۷	۹-۱۴	۱۵-۲۰۰
روی Zinc (wrought)	۱۰۵	-	۱۱۰-۲۰۰

مراجع مورد استفاده در تهیه این متن:

۱ -مقاومت مصالح -نوشته پوپوف -ترجمه حمید لعل خو -انتشارات پرهام -چاپ دوم تابستان ۱۳۷۳

۲- مقاومت مصالح برای مهندسین- نوشته گرهارد آدومیت -ترجمه محمدرضا فرامرزی- انتشارات طراح- چاپ اول زمستان ۱۳۸۲

۳- جداول و استانداردهای طراحی و ماشین سازی- مترجم عبدا... ولی نژاد- انتشارات طراح -چاپ هفدهم- زمستان ۱۳۸۲

۴ -آشنایی با فرایندهای ساخت و تولید -نوشته حجت ا... عالی -انتشارات دانشگاه امام حسین- چاپ دوم ۱۳۷۹

۵- شبکه جهانی اطلاعات (وب)

http://en.wikipedia.org