

بسمه تعالی

مهر ۱۳۸۴

گروه مهندسی متالورژی و مواد

راهنمای آزمایشگاه خواص مکانیکی

مقدمه

هدف آزمایشگاه خواص مکانیکی آشنائی دانشجویان با انواع مهم و پرکاربرد تستهای مکانیکی مورد استفاده در صنعت و کارهای پژوهشی می‌باشد. شاید مهمترین آزمایش در این میان برای دانشجویان گروه مهندسی مواد، آزمایش کشش ساده باشد که تغییر شکل الاستیک و پلاستیک را در شرایط ساده تک محوری بررسی می‌نماید و اطلاعات بسیار مهمی را در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد. به کمک آزمایش ساده کشش علاوه بر به دست آوردن مشخصات الاستیک و پلاستیک ماده همچون تنش تسلیم، استحکام کششی، ازدیاد طول و ...، پدیده نقطه تسلیم، کارسختی، پدیده گلوئی شدن، پیرسختی، نحوه شکست و اثر ترخ کرنش بر خواص کششی فولادها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

آزمایش مهم دیگر که از نظر کاربرد در صنعت شاید رتبه اول را دارا باشد سختی‌سنجی است که ساده‌ترین و سریعترین تست جهت رسیدن به اطلاعات اولیه در خصوص خواص مکانیکی یک ماده است. آزمایش ضربه مقاومت ماده در مقابل تغییر شکل با سرعت کرنش بالا را بررسی می‌کند و به عبارتی مقاومت به ضربه که معیاری مقایسه‌ای برای چقرمگی شکست ماده می‌باشد را اندازه‌گیری می‌نماید. در آزمایش خستگی با یکی از روشهای ساده تست خستگی آشنا شده و منحنی S-N برای یک نمونه فولادی به روش تست دورانی خمشی به دست می‌آید. آزمایش خزش تغییر شکل در اثر گذشت زمان را بررسی کرده و منحنی $\epsilon-t$ با توجه به دمای نسبتاً پایین فعال شدن مکانیزمهای خزش برای سرب رسم می‌شود.

گزارش تمام آزمایشات باید شامل موارد زیر بوده و حد اکثر دو هفته بعد از آزمایش تحویل گردد.

- ۱- تئوری آزمایش به صورت مختصر شامل نکات مهم
- ۲- شرح وسائل و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش
- ۳- شرح روش انجام آزمایش
- ۴- اطلاعات و نتایج به دست آمده از هر آزمایش مطابق خواسته‌های آن آزمایش
- ۵- خطاهای آزمایش

آزمایش اول - کشش ساده (جلسات اول و دوم)

هدف: بررسی خواص کششی فلزات و آلیاژهای مختلف در آزمایش کشش ساده تگ محوری و به دست آوردن منحنی تنش- کرنش.

وسایل کار: دستگاه کشش یونیورسال، نمونه‌های استاندارد آزمایش کشش (مطابق استاندارد ASTM-E8M از جنس فولاد ساختمانی ST 37، مس، آلومینیم، برنج زرد، کولیس و فیکسچر چوبی).

روش کار:

۱. در بخش کاهش سطح مقطع یافته نمونه های آزمایش، دو اثر به فاصله مشخص به عنوان طول سنج (gage length) علامت بزنید. قطر میانگین این بخش از نمونه‌ها را با کولیس به دقت اندازه‌گیری کنید.
۲. به کمک مسنول دستگاه، نمونه آزمایش را در فکها قرار داده و آن را محکم کنید.
۳. آزمایش کشش را شروع کنید.
۴. آزمایش را تا شکست نهایی ادامه داده و منحنی نیرو - ازدیاد طول را به طور کامل به دست آورید.
۵. پس از شکست نمونه، دو قسمت شکسته شده را درون فیکسچر چوبی قرار داده و آنها را به یکدیگر بچسبانید.
۶. طول نهایی سنج، قطر میانگین بخش تغییر شکل یافته و قطر دهانه گلویی را به دقت اندازه‌گیری کنید.

خواسته‌های آزمایش کشش

۱. ابعاد اولیه نمونه‌ها را در جدولی قرار دهید.
۲. منحنی تنش کرنش مهندسی را برای نمونه‌های آزمایش شده رسم نمایید.
۳. منحنی تنش کرنش حقیقی را برای دو نمونه (یک نمونه فولادی و یک نمونه انتخابی دیگر) محاسبه و رسم نمایید.
۴. برای تمام نمونه‌ها تنش تسلیم، استحکام کششی، استحکام شکست (مهندسی و حقیقی) را به دست آورید.
۵. برای تمام نمونه‌ها درصد ازدیاد طول، کرنش حقیقی کل، درصد کاهش سطح مقطع را به دست آورید.
۶. با فرض $\sigma = k\epsilon^n$ و با استفاده از اطلاعات آزمایش، ضرایب n و k را برای دو نمونه (نمونه‌های استفاده شده در مورد ۳) به دست آورید.
۷. چقرمگی نمونه‌ها (مقدار کار انجام شده تا شکست) را محاسبه کرده با یکدیگر مقایسه کنید.
۸. مدول الاستیسیته و برجهنگی نمونه‌ها را به دست آورده با یکدیگر مقایسه کنید.
۹. موارد ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ را در یک جدول گزارش نمایید.
۱۰. به طور کلی در خصوص اختلاف خواص کششی فلزات آزمایشات شده و احياناً اختلاف منحنی‌های به دست آمده با منحنی‌های گزارش شده در منابع اظهار نظر کنید.

آزمایش دوم - پدیده پیرکرنش (Strain Aging) (جلسه چهارم)

هدف: بررسی پدیده نقطه تسلیم در فولاد ساختمانی کم کربن، حذف آن با انجام تغییر شکل مومسان و پدید آمدن دوباره آن پس از تابکاری و افزایش استحکام مربوطه.

وسایل کار: دستگاه کشش یونیورسال، نمونه‌های استاندارد کششی (مطابق استاندارد ASTM E-8M) از جنس فولاد ساختمانی کم کربن ST37، کولیس و کوره تابکاری.

روش کار:

۱. یک نمونه فولادی را مشابه آنچه در آزمایش کشش ذکر شد، تا شکست نهایی مورد آزمایش قرار دهید. منحنی کامل نیرو - ازدیاد طول این نمونه را به عنوان شاهد حفظ کنید. (در آزمایش جلسه اول انجام شده است.)
۲. یک نمونه فولادی را در میان فکهای دستگاه قرار داده و آزمایش کشش را شروع کنید. پس از پدیدار شدن پدیده نقطه تسلیم و تغییر شکل مومسان کوچک، در نقطه تغییر شکل مومسان نیرو را حذف کنید. بلافاصله پس از حذف نیرو، دوباره نیروی کششی را اعمال کنید. به گونه ای که منحنی نیرو- ازدیاد طول بقیه مسیر خود را طی کند. پس از بارگذاری دوباره و ایجاد تغییر شکل مختصر، بار دیگر نیرو را حذف کنید. با انتخاب دما و زمان تابکاری مناسب، نمونه فولادی مورد آزمایش را در کوره تابکاری کنید. دما و زمان تابکاری را به گونه ای انتخاب کنید که افزایش استحکام تسلیم لحظه‌ای در منحنی پس از بارگذاری دوباره قابل مشاهده باشد. نمونه تابکاری شده را دوباره تحت کشش قرار دهید به طوری که منحنی نیرو- ازدیاد طول آن در ادامه منحنی ناقص قبل از تابکاری قرار بگیرد. آزمایش را تا شکست نهایی ادامه دهید.
۳. یک نمونه فولادی دیگر را به روش مشابه (بند ۲) مورد آزمایش قرار دهید، با این تفاوت که دمای تابکاری بیشتر یا کمتر از دمای تابکاری مناسب انتخاب شده باشد. آزمایش را تا شکست نهایی ادامه دهید.

خواسته‌های آزمایش بیرکرنشی

۱. منحنی تنش- کرنش مهندسی را برای نمونه‌های آزمایش شده رسم کنید.
۲. مشخصات به دست آمده در آزمایشها را با هم مقایسه کنید. (تنش تسلیم بالایی و پائینی، کرنش منطقه تسلیم، مدول الاستیسیته، استحکام نهائی و ...)
۳. در خصوص مشاهدات خود و نتایج آزمایش بحث کنید.

آزمایش سوم - فشار ساده (جلسه سوم)

هدف: بررسی خواص فلزات و آلیاژهای مختلف در فشار ساده تک محوری و به دست آوردن منحنی تنش- کرنش آنها.

وسایل کار: دستگاه آزمایش کشش یونیورسال، کولیس، نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش فشار از جنس فولاد ساختمانی ST37، مس آلومینیم، برنج زرد و چدن خاکستری و گریس.

روش کار:

۱. قطر و ارتفاع میانگین نمونه‌ها را با کولیس به دقت اندازه‌گیری کنید.
۲. سطوح نمونه آزمایش (در تماس با سطوح صفحات فک دستگاه) را با گریس آغشته کنید.
۳. نمونه آزمایش را در بین فکهای دستگاه و در مرکز آن قرار داده و آزمایش فشار را شروع کنید.
۴. آزمایش را تا پیدایش قابل وضوح بشکهای شدن نمونه ادامه داد و منحنی نیروکاهش ارتفاع را برای آن کامل کنید.
۵. ارتفاع نهائی، بیشترین قطر در محل بشکهای شدن و قطر در محل سطوح بالایی و پائینی نمونه را به دقت اندازه‌گیری کنید.
۶. سایر نمونه‌های آزمایش را به روش مشابه مورد آزمایش قرار دهید.
۷. یکی از نمونه‌های نرم را با احتیاط بسیار زیاد به کمک مسئول دستگاه تنها تا هنگام ایجاد ترکهای قابل مشاهده در محل بشکهای شدن آن، تحت فشار قرار دهید.

خواسته‌های آزمایش فشار ساده

۱. ابعاد اولیه و نهائی نمونه‌ها را در جدولی قرار دهید.
۲. با استفاده از منحنی‌های نیرو - کاهش ارتفاع، منحنی‌های تنش - کرنش را برای همه نمونه‌ها رسم کنید.
۳. استحکام فشاری، تنش تسلیم (۰/۲٪)، کرنش مهندسی و حقیقی کل و درصد بشکهای شدن را برای همه نمونه‌ها به دست آورده و با هم مقایسه کنید.
۴. خواص فشاری نمونه‌های مختلف را با هم و با توجه به خواص کششی آنها مقایسه کنید.
۵. با توجه به خواص کششی مواد مشابه تست شده در جلسات قبل خواص کششی و فشاری فلزات را با یکدیگر مقایسه کنید.

آزمایش چهارم - خمش (جلسه سوم)

هدف: بررسی مقاومت فولاد در برابر اعمال بار خمشی.

خواسته‌های آزمایش خمش

۱. رسم نمودار تنش - کرنش مهندسی برای دو نمونه آزمایش شده.
۲. بررسی رفتار خمشی فولادهای مقایسه فولاد ساختمانی St14 (فولاد آزمایش شده در آزمایشگاه) با فولاد زنگ‌نزن 316L منحنی دوم ارائه شده در برگه.

آزمایش پنجم - ضربه (جلسه پنجم)

هدف: بررسی مقاومت فولاد در برابر ضربه، تاثیر دما بر استحکام ضربه و تعیین دمای انتقال شکست نرمی به تدری.

وسایل کار: دستگاه آزمایش ضربه، نمونه‌های استاندارد آزمایش ضربه شاریپی (با مقطع ۱۰*۱۰ میلی‌متر و طول ۵۵ میلی‌متر با شیار V شکل ۴۵ درجه تا عمق ۲ میلی‌متری مقطع)، کپسول محتوی گاز CO₂، اجاق گاز، دما سنج، انبر نمونه‌گیر، ظروف و وسایل مورد نیاز، الکل صنعتی (یا استون)

روش کار:

۱. برای این آزمایش چهار دمای متفاوت (100°C , -70°C , 0°C و دمای محیط) در نظر گرفته شده است.
۲. دو نمونه اول را در دمای محیط ($\sim 25^{\circ}\text{C}$) مورد آزمایش قرار دهید. قبل از انجام آزمایش با دماسنج دمای محیط را اندازه گیری و ثبت کنید. نمونه آزمایش را به دقت در محل خود در دستگاه قرار داده و عقربه دستگاه را روی صفر تنظیم کنید. با رعایت تمام مسایل ایمنی، قفل پاندول دستگاه را آزاد کرده و آزمایش را انجام دهید. دقت در انجام این آزمایش ضروری است. بهتر است قرار گرفتن نمونه در محل مخصوص خود و رها سازی پاندول توسط تکنسین آزمایشگاه انجام گیرد. در هر بار انجام آزمایش از روی صفحه مندرج دستگاه (درجه بندی مربوط به آزمایش ضربه شارپی ۹، انرژی جذب شده توسط نمونه حین اعمال ضربه به آن را برجسب ژول خوانده و ثبت کنید.
۳. دو نمونه را درون ظرف محتوی آب جوش در دمای حدود 100°C قرار داده و چند دقیقه صبر کنید تا به دمای آب جوش برسد. با دماسنج دما را کنترل کنید. پس از اطمینان از رسیدن نمونه‌ها به دمای مورد نظر، هر دو این نمونه‌ها را مشابه قبل مورد آزمایش قرار داده و نتایج را ثبت کنید.
۴. به کمک تکنسین آزمایشگاه با استفاده از کپسول گاز CO_2 مقدار کافی یخ خشک تهیه کنید. با ریختن مقداری از آن درون ظرفی محتوی الکل صنعتی (یا استون)، دما را پائین آورید. دما را در حدود 0°C حفظ کرده و آن را با دما سنج کنترل کنید. دو نمونه را در آن قرار داده و چند دقیقه صبر کنید. پس از اطمینان از رسیدن نمونه‌ها به دمای 0°C ، آنها را مشابه قبل مورد آزمایش قرار داده و نتایج را ثبت کنید.
۵. با اضافه کردن مقدار بیشتری یخ خشک، دما را به زیر صفر ببرید. آنقدر یخ خشک اضافه کنید که محلول درون ظرف به دما تقریبی -70°C برسد. دو نمونه دیگر را درون ظرف قرار داده و نتایج را یادداشت کنید.

خواسته‌های آزمایش ضربه

۱. ثبت نتایج آزمایش در جدول (نتایج آزمایشهای گروه دیگر را برای افزایش تعداد نقاط آزمایش استفاده کنید).
۲. بحث در خصوص سطوح شکست نمونه‌های مختلف
۳. رسم نمودار انرژی شکست بر حسب دما
۴. رسم نمودار درصد شکست ترد بر حسب دما
۵. رسم نمودار درصد انقباض (تغییر فرم پلاستیک) بر حسب دما
۶. تعیین درجه حرارت تبدیل نرمی به تردی (DBTT)، شروع تردی (انتقال از شکست نرم) FTP، نرمی صفر NDT و انتقال شکل ظاهری سطح شکست FATT

آزمایش ششم - خستگی فلزات (جلسه ششم)

هدف: بررسی خستگی فولاد ساختمانی کم کربن تحت تنش متناوب در آزمایش خستگی خمش دورانی (Rotating Bending) و رسم منحنی S-N آن.

وسایل کار: دستگاه خستگی خمش دورانی، نمونه های استاندارد دستگاه از جنس فولاد ساختمانی ST37، کولیس.

روش کار:

۱. با استفاده از استحکام کششی فولاد ساختمانی ST37، اولین تنش متناوب اعمالی را 0.9 TS در نظر بگیرید.
۲. قطر میانگین نمونه‌ها در محل مورد نظر را با کولیس به دقت اندازه بگیرید.
۳. پس از قراردادن قسمت مخروطی نمونه در فك دستگاه، با کولیس فاصله دقیق محل تکیه گاه تا محل اعمال نیرو را اندازه گیری کنید. (این نیرو ایجاد گشتاور خمشی در نقطه خاصی از نمونه آزمایش می کند که به کمک روابط موجود تنش در مقطع فوق قابل محاسبه است) به قسمت آزاد نمونه این نیرو را اعمال کنید.
۴. پس از صفر کردن کنتور شماره اندازه دستگاه را روشن کنید. برای چک کردن کنتور زمان شروع آزمایش را ثبت نمایید (تعداد دور دستگاه و دور دقیقه تقریباً ۲۸۰۰ است)
۵. پس از شکست نمونه زمان را ثبت کرده و عدد مندرج در صفحه کنتور را یادداشت کنید. برای این نمونه يك تنش متناوب S اعمالی به همراه تعداد دورها تا شکست نهایی (Nf) گزارش کنید.
۶. نمونه های بعدی را به ترتیب در تنشهای 0.7 ، 0.6 و 0.5 برابر استحکام کششی مورد آزمایش قرار دهید.
۷. در صورتی که نمونه‌ای تحت تنش اعمالی پس از حدود $2 * 10^6$ دور شکسته نشده دستگاه را خاموش کرده و نمونه را خارج کنید. برای این نمونه يك تنش اعمالی به همراه تعدادی دورهای $2 * 10^6 >$ گزارش کنید. در این صورت تنش اعمالی فوق یا دقیقاً حد خستگی است و یا کمتر از آن است. برای نمونه بعدی، تنش را قدری بیشتر از این نمونه در نظر بگیرید.
۸. آزمایش را برای تمامی نمونه های آزمایش در نظر گرفته شده انجام دهید تا به این ترتیب تعداد نقاط کافی برای منحنی S-N به دست آید.

خواسته‌های آزمایش خستگی

۱. تنش را برای تمام آزمایشها محاسبه کرده و نتایج به دست آمده را در جدولی قرار دهید. (نتایج آزمایشهای گروه دیگر را برای افزایش تعداد نقاط آزمایش استفاده کنید).
۲. منحنی S-N را برای فولاد ساختمانی St37 مورد آزمایش رسم نمایید.
۳. منحنی مشابه برای فولاد مزبور از کتب و مراجع مربوطه بیابید و با منحنی به دست آمده مقایسه کنید.
۴. حد خستگی فولاد مزبور را در حدود $10^6 \times 2$ دور به دست آورید.
۵. حد خستگی فولاد مزبور را از کتب و مراجع مربوطه بیابید و با مقدار به دست آمده مقایسه کنید.
۶. سطح مقطع شکست خستگی نمونه‌ها در دامنه تنش کم و زیاد را بررسی و با هم مقایسه کنید.

آزمایش هفتم - سختی سنجی (جلسه هفتم)

هدف: بررسی روشهای مختلف سختی سنجی فلزات و انتخاب روش مناسب تعیین سختی برای فلزات و آلیاژهای مختلف آزمایش

وسایل کار: دستگاه سختی سنجی و یکرورز و راکول، نمونه‌های آزمایش سختی سنجی و یکرورز از جنس فولاد ساختمانی، مس، آلومینیم و برنج زرد به شکل تسمه های بریده شده.

روش کار:

۱. ابتدا با سنباده سطح قطعات آزمایش را صاف کنید.
۲. سختی نمونه‌های مختلف را به روش و یکرورز با انتخاب نیروی مناسب اندازه گیری کنید. برای این کار از جدول مربوط به دستگاه یا معادله مربوط به روش سختی سنجی و یکرورز استفاده کنید. هر عدد سختی که گزارش می‌کنید میانگین ۳ تا ۴ عدد سختی باشد.
۳. با انتخاب فرو رونده و نیروی مورد نیاز برای روش سختی سنجی راکول B، سختی نمونه‌ها را اندازه‌گیری کنید.

خواسته‌های آزمایش سختی سنجی

۱. اعداد سختی را برای تمام نمونه‌های آزمایش شده در جدولی قرار دهید.
۲. با استفاده از جداول و یا روابط تجربی موجود، اعداد سختی و یکرورز را به برینل تبدیل نمایید. سپس اعداد سختی برینل را به سختی راکول B تبدیل و نتیجه را با نتایج به دست آمده از سختی سنجی با روش راکول B مقایسه کنید.
۳. اعداد سختی سنجی راکول C را به یکرورز تبدیل نموده با نتایج به دست آمده در آزمایشگاه مقایسه کنید.
۴. با استفاده از جداول و روابط مناسب، استحکام کششی نمونه‌ها را حدس بزنید.
۵. نتایج سختی سنجی روی یک سطح مدور را طبق روابط موجود به سختی معادل برای سطح تخت تبدیل نموده با اعداد به دست آمده در آزمایشگاه مقایسه نمایید.

آزمایش هشتم - خزش (جلسه هشتم)

هدف: بررسی پدیده خزش در فلز سرب در دمای محیط تحت نیروی ثابت

وسایل کار: دستگاه خزش در دمای محیط، کولیس، نمونه‌های استاندارد دستگاه خزش از جنس سرب، تعدادی وزنه، کروномتر، دماسنج

روش کار:

۱. ابعاد نمونه آزمایش را به دقت با کولیس اندازه گیری کنید.
۲. نمونه را در فکهای دستگاه قرار داده و آن را محکم کنید.
۳. با در نظر گرفتن تنش تسلیم تقریبی فلز سرب در دمای محیط، نیروی ثابت مورد نیاز را انتخاب کنید. عقربه دستگاه را بر روی صفر تنظیم کنید. نیرو را اعمال کرده و همزمان با آن زمان کروномتر را در عدد صفر تنظیم کنید.
۴. در فواصل زمانی کوتاه، عدد مربوط با از دیاد طول نمونه را از سوی صفحه مدرج نشان‌دهنده بخوانید. این عدد را به همراه زمان مربوط ثبت کنید.
۵. آزمایش را تا شکست نهائی ادامه دهید.

خواسته‌های آزمایش خزش

۱. نتایج آزمایش را در جدول قرار دهید.
۲. منحنی تغییرات کرنش مهندسی را بر حسب زمان رسم کنید.
۳. بخشهای مختلف این منحنی را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهید.
۴. منحنی به دست آمده از آزمایش را با منحنی استاندارد خزش در دما و تنش ثابت مقایسه کنید.