

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

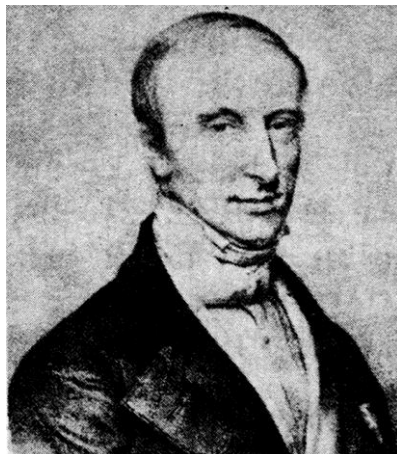
ساختمان ممکن است به اندازه کافی محکم باشد، اما بیش از حد خم شود و گاهی اوقات باعث ترک خوردن گچ سقف گردد. همچنین یک عضو ممکن است به حدی باریک یا لاغر باشد که تحت تأثیر بارهای فشاری در اثر کمایش تغییر شکل دهد. در عمل باید ضمن رسیدن به خواسته های مذکور، حداقل هزینه مواد نیز در نظر گرفته شود. در کنار هزینه،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

مقاومت مصالح یکی از درسهای نسبتاً 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 پیشرفتهای را مرهون تلاش محققین فرانسوی چون کولمب، پواسون، ناویر، سنت ونانت و کوشی می باشد.

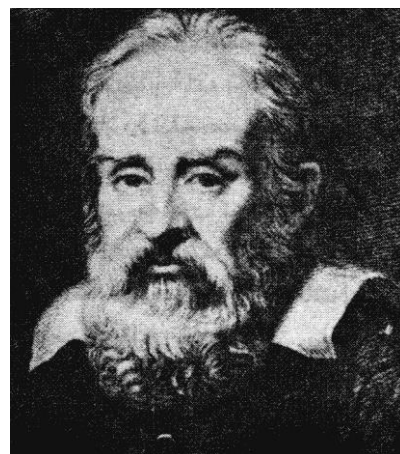
علم مقاومت مصالح در مهندسی، کاربردهای زیادی دارد. مهندسين معدن و معماری، مهندسين عمران جهت طراحی پل ها و ساختمانها، مهندسين علوم هسته ای برای طراحی ساختمان راکتورهای اتمی، مهندسين مکانیک برای طراحی ماشین آلات و قطعات صنعتی، مهندسين شیمی برای طراحی ظروف تحت فشار، مهندسين متالورژی برای بهسازی مواد موجود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



سیمون پواسون



اوگوستین لویی کوشی



گالیلئو گالیلئی

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

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

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 خواهند 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.

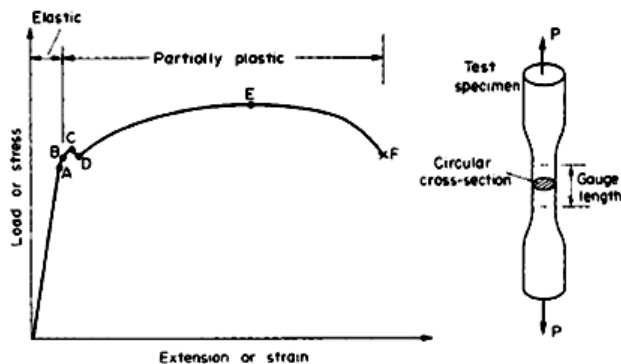
کوتاه سخن آن که با رسم نمودار تنش-کرنش هر ماده، رفتار مکانیکی آن دقیقاً قابل بررسی و تعیین است به همین دلیل در واحدهای طراحی جهت مشخص نمودن رفتار دقیق مکانیکی یک ماده، نمونه ای از آن تهیه کرده به کمک آزمایش کشش، نمودار تنش-کرنش آنرا رسم می نمایند. سپس با تحلیل این نمودار رفتار مکانیکی ماده را تشخیص می دهند.

به عنوان مثال در ساخت قالبهای فلزی (سنبه ماتریس) نرم افزار شبیه ساز Super 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 فولادها بعنوان نشانه انتخاب یک فولاد خود عامل مهمی در درک اهمیت نمودار تنش-کرنش و آزمایش کشش می باشد.

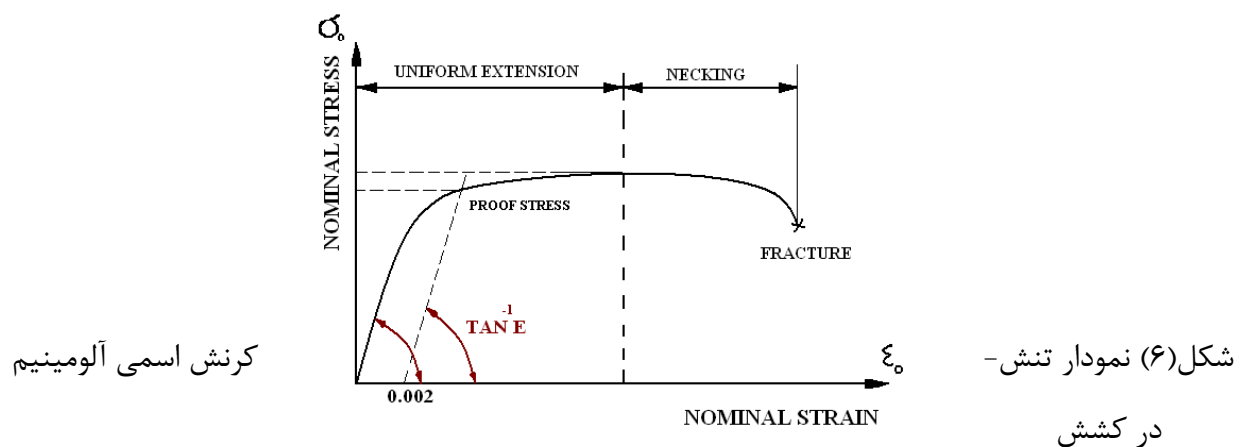
تحلیل نمودار تنش-کرنش

شکل کلی نمودار تنش-کرنش برای فولاد 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 $\epsilon_0 = \frac{\Delta L}{L_0}$) رسم شده است.



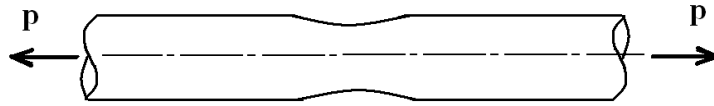
شکل (۵) نمودار تنش-کرنش اسمی فولاد نرم در کشش

الف-نقطه ی تسلیم (Yield Point): در نمودار کشش فولاد 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 می‌یابد 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 آلومینیوم خالص از این رفتار پیروی نمی‌کنند. شکل (۶) نمودار تنش-کرنش اسمی آلومینیوم را نشان می‌دهد. بیشتر فلزهای غیر آهنی نظیر مس، برنج، تیتانیوم و همچنین فولادهای آلیاژی (به ویژه فولاد ضد زنگ) دارای این نوع نمودار تنش-کرنش می‌باشند.



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 می‌توان نسبت به بیشترین نیرو بر سطح 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 می‌شود (شکل ۷). 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 نمی‌باشد 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 تنش 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.

ح- 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 ($E = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}$)

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 می رود ($G = 10^9$ = گیگا).

و- تنش و کرنش حقیقی (True Stress And True Strain): خواص کششی قرار دادی که تشریح گردید، کاملاً خواص فیزیکی اجسام را بیان نمی کنند. 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 بار کششی لحظه‌ای و A سطح مقطع لحظه‌ای باشد، تنش حقیقی برابر است با $\sigma = \frac{F}{A}$ در حالی که تنش

اسمی سطح مقطع ابتدایی (A_0) عبارت است از $\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$. کرنش اسمی نیز عبارت است از $\epsilon_0 = \frac{L - L_0}{L_0}$ (طول

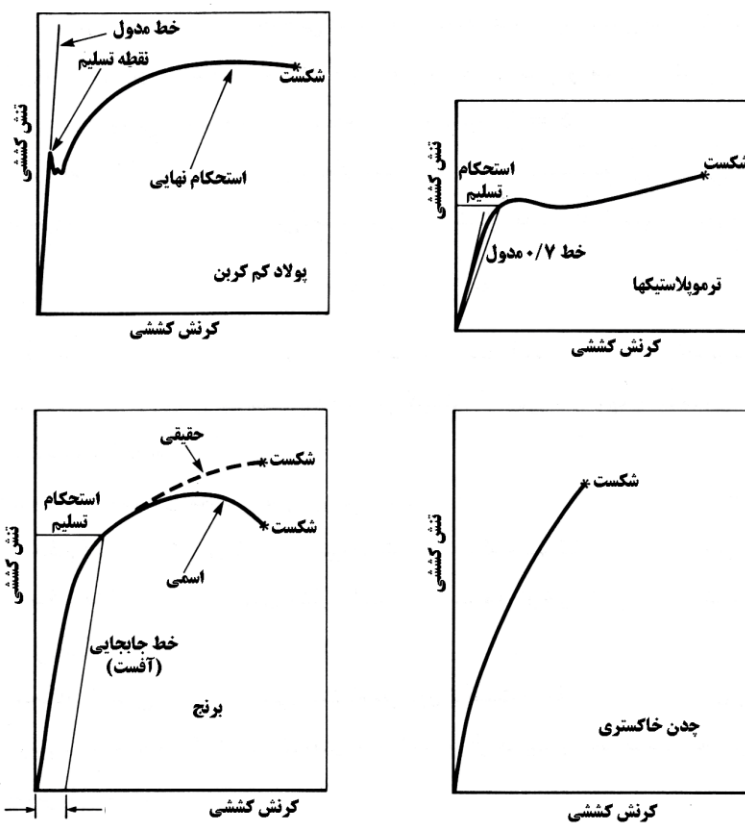
اولیه L_0 و طول لحظه‌ای L). برای محاسبه تنش و کرنش حقیقی نیز می توان از این رابطه ها استفاده نمود

$$\epsilon = \ln(1 + \epsilon_0) \quad \text{و} \quad \sigma = \sigma_0(1 + \epsilon_0)$$

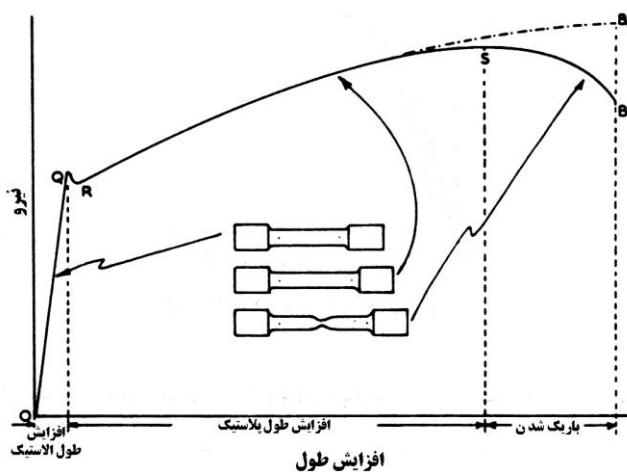
برای برخی اجسام، معادله تنش و کرنش حقیقی که تقریباً رفتار بسیاری از فلزها را نشان می دهد عبارت است

$$\sigma = C\epsilon^n \quad \text{از:}$$

که در آن C , n ثابتهای معادله هستند.



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



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