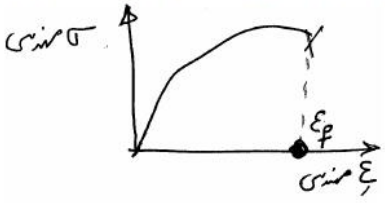
جلسه سوم (اجزای ماشین کاردانی)

مصالح مهندسی و مقاومت حد مواد

۲ـ۱: مقاومت حد مواد در کشش و فشار

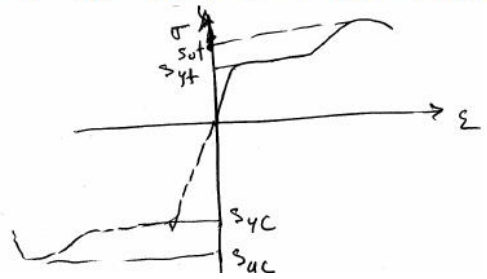
مواد مورد نظر در طراحی به سه دسته نرم – نیمه نرم و شکننده تقسیم می‌شوند. اصولاً اگر کرنش شکست (نسبت تغییر طول نمونه آزمایشگاهی در هنگام شکست به طول اولیه نمونه آزمایشگاهی) به صورت زیر باشد حد و مرز مواد نرم و شکننده را بیان می‌کند.



اگر $\varepsilon_f < 5\%$ باشد ماده شکننده است.

اگر $\varepsilon_f \geq 5\%$ باشد ماده نرم است.

مقاومت حد مواد نرم (مانند فولادها) یا مواد Ductile یا چکش‌خوار در آزمایشگاه مقاومت مصالح با انجام آزمایش کشش ساده (به کتاب مقاومت مصالح بیرجانسون مراجعه شود) برای اجسام نرم رفتار تنش و کرنش در کشش و فشار به صورت زیر می‌باشد.



یادداشت:

S_{ut} مقاومت کششی نهایی

S_{uc} مقاومت فشاری نهایی

S_{yt} مقاومت تسلیم کششی

S_{yc} مقاومت تسلیم فشاری

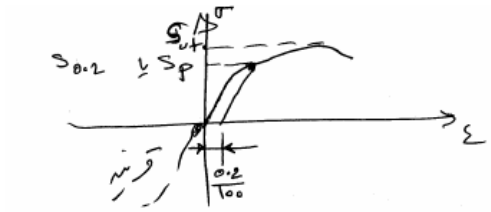
در اجسام نرم مقاومت‌های حد کششی و فشاری برابرند یعنی

$|S_{yt}| = |S_{yc}| = S_y$ مقاومت تسلیم

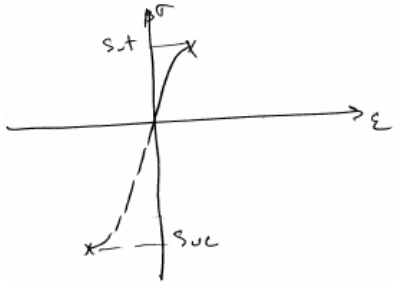
$|S_{ut}| = |S_{uc}| = S_{ut}$ مقاومت حد کششی

مقاومت حد مواد نیمه نرم (آلومینیم و آلیاژهای آن): در اجسام نیمه نرم مانند نرم لغزش لایه‌ای یعنی گذر از تغییر شکل الاستیک به پلاستیک وجود دارد که مقاومت مربوط به این نقطه گذر را با S_p یا مقاومت شاهد یا گواه نشان می‌دهند. در واقع این نقطه را نمی‌توان با S_y و یا تسلیم نشان داد زیرا ثابت نگهداشتن بار یک تغییر شکل افزایشی در ماده مشاهده نمی‌شود. شرایط کشش و فشار در این مواد یکسان می‌باشند.

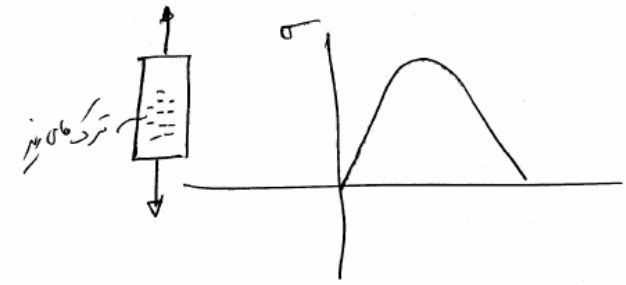
نتیجه اینکه مقاومت حد مواد نیمه نرم در کشش و فشار به ترتیب با (S_p, S_{ut}) و $(-S_p, -S_{ut})$ بیان می‌کنند.



مقاومت حد مواد شکننده (مانند چدن) یا مواد Brittle یا ترد: در اجسام شکننده دیگر لغزش لایه‌ای یا تغییر شکل پلاستیک وجود ندارد و همین مقاومت کششی نهایی با فشاری یکسان نمی‌باشد بلکه همواره $|S_{uc}| > |S_{ut}|$ است.



تذکر مهم اینکه در برخی از مواد مانند بتون – چوب – برخی از آلیاژهای فولاد – برخی از کامپوزیتها مقاومت تسلیم کششی S_{yt} با مقاومت تسلیم فشاری S_{yc} یکسان نمی‌باشند. در این مواد به محض اعمال بار کششی (در مثلاً آزمایش کشش ساده) ترک‌های بسیار ریز در قطعه ایجاد شده به طوریکه یک منطقه آسیب‌پذیر Damage zone در سراسر قطعه ایجاد می‌شود. این منطقه آسیب‌پذیر با افزایش بار نیز بزرگتر شده و در نتیجه یک پدیده نرم گردانی Softening در ماده ایجاد می‌شود و منحنی تنش و کرنش به صورت زیر نمایان می‌گردد.



این مواد نرم خاصیت مواد شکننده را پیدا می‌کند زیرا مقاومت حد تسلیم کششی دیگر با مقاومت حد تسلیم فشاری یکسان نمی‌باشد $\left(S_{yt} \neq S_{yc}\right)$. این مواد را نیز ماده شبه شکننده یا ماده نرم با خواص شکننده یا qwasi - brittle نامند. طراحی این اجسام بر اساس تئوری اجسام شکننده انجام خواهد شد.

۲ـ۲: مقاومت حد مواد در برش

از آنجائیکه یک رابطه تجربی بین مقاومت حد مواد در کشش و برش وجود دارد دیگر نیاز به آزمایش برش در آزمایشگاه مقاومت مصالح نداریم. این روابط تجربی عبارتند از:

$S_{sy} = 0.5S_y$ (بر اساس Tresca)

$S_{sy} = 0.577S_y$ (بر اساس وان‌مایز)

$S_{su} = (0.43 - 0.75)S_{ut}$

سه رابطه بالا مربوط به اجسام نرم (یا نیمه نرم) می‌باشد که در محاسبات می‌توان هر سه را با تقریب 0.5 استفاده نمود. برای اجسام شکننده داریم:

$S_{su} \cong S_{ut}$

تذکر مهم: به چندین نکته مهم برای اجسام نرم و شکننده توجه شود.

نکته اول: در اجسام نرم (یا نیمه نرم) و شکننده رابطه مستقیم بین S_{ut} و سختی برینل ماده وجود دارد یعنی

$S_{ut} = 3.45(BHN)$ اجسام نرم

$S_{ut} = 1.58(BHN)$ اجسام شکننده و ترد

نکته دوم: سطح زیر منحنی تنش و کرنش در اجسام نرم بزرگتر از اجسام ترد است. معمولاً سطح زیر منحنی تنش و کرنش را سفتی یا Toushness ماده نامند. مقاومت مواد در مقابل تغییر شکل را نیز مقاومت یا strength نامند. در مواد معمولاً مقاومت و سفتی یک رابطه عکس با یکدیگر دارند.

نکته سوم: سطح زیر منحنی تنش و کرنش رابطه مستقیم با انرژی کرنشی ماده دارد. هر چه انرژی کرنشی ماده بیشتر شود مقاومت به ضربه آن نیز بیشتر می‌شود. انرژی کرنشی از رابطه زیر تبعیت می‌کند.

$$u = \frac{\sigma^2}{2E}V$$

که V حجم نمونه آزمایشگاهی می‌باشد.

نکته چهارم: در آزمایش کشش ساده انرژی واپیچشی که باعث تغییر شکل ماده می‌شود (نه باعث تغییر حجم) از رابطه زیر تبعیت می‌کند.

$$u_d = \frac{1+\upsilon}{3E} S_y^2$$

که υ نسبت پواسون و E مدول الاستیته و S_y مقاومت حد تسلیم ماده می‌باشد.

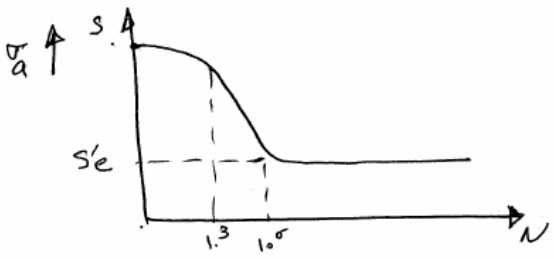
نکته پنجم: اختلاف‌های متعددی بین اجسام نرم و شکننده وجود دارد که در قسمتهای بعدی به آن اشاره می‌شود.

۲ـ۳: مقاومت حد مواد در بارهای نوسانی

اصولاً خواص خستگی مواد تحت بارهای نوسانی به دو دسته تقسیم می‌شوند. یا به عبارت دیگر خواص خستگی مواد توسط دو آزمایش متفاوت انجام می‌گیرد که عبارتند از آزمایش میله چرخان (S-N دیاگرام) یا آزمایش Pull - Push ($\varepsilon - N$ دیاگرام). مدل‌های تخمین عمر خستگی براساس دو معیار تنش و کرنش که به ترتیب توسط رفتارهای دیاگرامهای S-N و $\varepsilon - N$ بیان می‌شود در بخش‌های بعدی اشاره خواهد شد. در این فصل اندازه گیری خواص خستگی مواد که عبارتند از $S'e$ و b و c و ε'_f و σ'_f به صورت زیر انجام می‌گیرد.

۲ـ۳ـ۱ـ۱ـ اندازه‌گیری مقاومت حد دوام یا حد تحمل برای معیار تنش

این مقاومت حد توسط آزمایش میله چرخان (به جزوه آزمایشات مقاومت ۱ مراجعه شود). انجام می‌گیرد. و نتایج بر حسب تغییرات دامنه تنش σ_a بر حسب عمر در مختصات لگاریتمی رسم شده و دیاگرام زیر به دست می‌آید.



برای فلزات مختلف S'_e اندازه گیری می‌شود. S'_e را مقاومت حد دوام (یا حد تحمل) آزمایشگاهی نامند به طوری که در یک بار نوسانی کاملاً برگشتی حاکم بر میله چرخان خواهیم داشت:

اگر $\sigma_a \le S'_e$ باشد : قطعه دارای عمر نامحدود یا دائم است.

اگر $\sigma_a > S'_e$ باشد : قطعه دارای عمر محدود است.

اصولاً اندازه گیری S'_e به روش آزمایشگاهی بسیار گران است لذا از روابط تجربی زیر استفاده می‌شود. دقت گردد که برخی از فلزات مانند آلومینیم و منیزیم و برخی ار پلاستیک‌ها مقاومت حد تحمل ندارند. در هر حال روابط تجاری زیر برای برخی از فولادها و چدن‌های ریختگی به شرح زیر است:

فولادها
$$\begin{cases} S'_e = 0.5\,Su & \text{اگر } S_{ut} \le 1400\,MPa \text{ باشد} \\ S'_e = 700\,MPa & \text{اگر } S_{ut} > 1400\,MPa \text{ باشد} \end{cases}$$

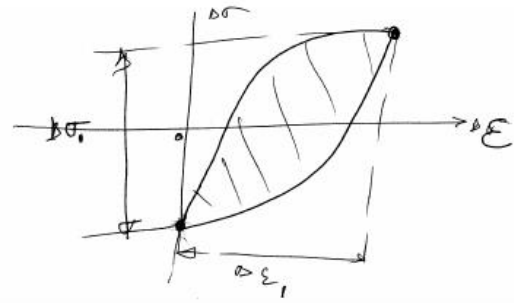
چدن‌ها و فولاد ریختگی
$$\begin{cases} S'_e = 0.45\,Sut & \text{اگر } S_{ut} \le 600\,MPa \text{ باشد} \\ S'_e = 275\,MPa & \text{اگر } S_{ut} > 600\,MPa \text{ باشد} \end{cases}$$

در فصل واماندگی خستگی (فصل چهارم) تخمین عمر خستگی قطعات به کمک S-N دیاگرام توضیح داده خواهد شد.

۲ـ۳ـ۱ـ۲ـ اندازه‌گیری مقاومت حد دوام خستگی مواد براساس کرنش

در بسیاری از قطعات به خصوص اجسام نرم تحت عمر پائین، تخمین عمر براساس معیار تنش همراه با خطاهای زیادی می‌باشد، لذا برای طراحی در مقابل واماندگی خستگی از معیار کرنش استفاده می‌شود. خواص مواد در این حالت از طریق آزمایش خستگی Pull-Push انجام می‌گیرد. دستگاه شبیه دستگاه کشش ساده است و بار به صورت نوسانی (مثلاً $R = 0$) به نمونه آزمایشگاهی اعمال می‌گردد. خواص خستگی ماده شامل چهار پارامتر ε'_f و ε'_f و b و c می‌باشد (بعداً توضیح داده می‌شود) که از طریق آزمایش Pull-Push انجام و توسط دیاگرام $\varepsilon - N$ استخراج می‌گردد. این آزمایش بایستی توسط کنترل تنش و یا کنترل کرنش انجام گیرد. معمولاً از طریق کنترل کرنش انجام می‌گیرد.

معمولاً تمام فلزات پس از ماکزیمم 20 سیکل به یک حلقه متعادل بسته می‌رسند که آن را hysteresis loop نامند، انرژی یا سطح این حلقه رابطه مستقیم با عمر قطعه دارد.



(حلقه متعادل بسته در کنترل کرنش $\Delta\varepsilon_1$)

پایان جلسه سوم