

دانش اگر در ثریا هم باشد مردمانی از سرزمین پارس بر آن دست خواهند یافت.

پیامبر اعظم (ص)

شرح جامع و نمونه سوالات

سازه‌های فولادی ۱ و ۲

«مهندسی عمران»

مولف: مازیار مرادی

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

دعوت به همکاری

از تمام علاقمندان دعوت می‌شود تا کلیه‌ی مطالب خود را در رابطه با درس سازه‌های فولادی اعـم از درس، نکتـه، مثـال و تست برای بنده ارسال کنند تا در چاپ‌های بعدی بنام شخص فرستنده به کتاب حاضر اضافه گردد.

لازم به ذکراست که کلیه‌ی مشخصات خود را علی‌الخصوص آدرس، شماره تلفن ثابت و تلفن همراه خود را قیـد نمائیـد تـا برای تعامل بیشتر مشکلی نداشته باشیم.

ضمناً از کلیه‌ی خوانندگان کتاب حاضر خواهشمندم مـشکلات کتـاب حاضـر را بـرای بنـده ارسـال کننـد و پیـشنهادات و انتقادات خود را از بنده دریغ نفرمایند.

با سپاس مازیار مرادی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران
maziar.moradi @ yahoo.com

پیشگفتار مؤلف

سلام.

از ابتدای دانشجویی تو این فکر بودم که بعد از اتمام کارشناسی چه کنم. دو راه بیشتر در مقابلم نبود. اول قناعت به لیسانس و به تبع آن سربازی و کار. و دیگر ادامه تحصیل. دوراهی سختی بود. این وسوسه که در کار عمرانی مهم تجربه است و کارشناسی ارشد با کارشناسی خیلی تفاوت ندارد شاید بیشتر از باقی حرف‌ها انتخاب را برایم سخت کرده بود.

بگذریم. به هر شکلی که بود تصمیم به ادامه‌ی تحصیل گرفتم. دیگر دغدغه‌هایم عوض شده بود. دعا می‌کردم که دروس تخصصی‌تر مثل فولاد و بتن به کنکور اضافه شود تا رقابت تنها بین عمرانی‌ها بماند و جدی‌تر شود. اما تا روزی که به کنکور ارشد رسیدم این اتفاق نیفتاد و مجبور شدم با همان سرفصل‌های سابق در کنکور شرکت کنم.

روزی هم که خبر اضافه شدن دروس جدید به منابع ارشد، به گوشم رسید خیلی خوشحال شدم و تصمیم گرفتم کمکتان کنم. هر چند ناچیز. به حد بضاعت خودم. چون مثل خودم راه دوم را انتخاب کردید.

تمام سعی‌ام را کردم که علم طراحی سازه‌های فولادی را به صورت مفید و مختصر و البته کنکوری برایتان جمع‌وجور کنم و به دستتان برسانم.

با آرزوی دیدنتان در مقطع کارشناسی ارشد

ارادتمند

مازیار مرادی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مؤلف ۵

فصل اول: فولاد و خواص آن

آزمایش کشش مستقیم ۱۳
انواع فولاد ۱۴
معایب فولاد ۱۵
عملیات سرد و سخت‌شدگی مجدد ۱۷
برخی از مشخصات مهندسی فولاد ۱۸
طاقت (چقرمگی) ۱۹
تست‌های آخر فصل ۲۱
پاسخ تست‌های آخر فصل ۲۳

فصل دوم: اعضای کششی

ساخت قطعات فولادی ۲۹
اثر تنشهای پس‌ماند ۲۹
اعضای کششی ۳۱
لاغری به عنوان یک معیار طراحی ۳۷
میل مهارها sag rod ۳۸
تست‌های آخر فصل ۴۱
پاسخ تست‌های آخر فصل ۴۵

فصل سوم: پیچ و مهره

وسایل اتصال ۵۳
بارگواه ۵۳
انواع اتصالات ۵۳
انتقال نیرو در اتصالات پیچی ۵۴
تنشهای اسمی یا قراردادی ۵۴
انواع خرابی ۵۴
روش ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی ۵۸

عنوان **صفحه**

تعیین نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی ۵۸
ترکیب نیروی برشی و پیچشی ۵۹
ترکیب نیروی بر شی و لنگر خمشی ۶۰
برش قالبی (گسیختگی قالبی) ۶۱
تست‌های آخر فصل ۶۳
پاسخ تست‌های آخر فصل ۶۶

فصل چهارم: جوش

جوشکاری با استفاده از قوس الکتریکی ۷۳
سطح مؤثر جوش ۷۳
انواع جوش ۷۳
محدودیت اندازه و طول جوش گوشه ۷۵
برگشت جوش ۷۵
مقاومت و ارزش جوش ۷۵
جوش متعادل ۷۶
مجموعه جوش تحت اثر توام برش و پیچش ۷۷
مجموعه جوش تحت اثر توام برش و خمش ۷۸
تست‌های آخر فصل ۸۰
پاسخ تست‌های آخر فصل ۸۳
پاسخ تست‌های آخر فصل ۸۴

فصل پنجم: ستون‌ها

پدیده ناپایداری یا کمانش ۹۱
کمانش ارتجاعی اولر ۹۲
کمانش غیر الاستیک ۹۴
روابط آیین‌نامه ۹۵
روش علمی برای تعیین ضریب طول مؤثر ۹۷
کمانش موضعی اجزای تحت فشار ۹۷
ستون‌های مرکب ۹۸
قیدها ۱۰۰
تست‌های آخر فصل ۱۰۴
پاسخ تست‌های آخر فصل ۱۱۱

فصل ششم: تیرهای با اتکای جانبی

تئوری خمش ۱۲۱
طراحی تیر ۱۲۳

عنوان **صفحه**

تنشهای خمشی ۱۲۳
تنشهای برشی ۱۳۰
سخت‌کننده‌ها (stiffner) ۱۳۱
وجود سوراخ در جان و بال تیر ۱۳۴
تیرهای نعل درگاهی ۱۳۵
تیرهای مرکب (مختلط) ۱۳۵
تست‌های آخر فصل ۱۴۱
پاسخ تست‌های آخر فصل ۱۴۷

فصل هفتم: پیچش و تیرهای بدون اتکای جانبی

انواع پیچش ۱۵۷
پیچش خالص ۱۵۷
پیچش ممانعت‌شده همراه با تابیدگی ۱۵۸
برش مقاطع جدار نازک ۱۶۴
تیرهای بدون اتکا جانبی ۱۶۵
کمانش جانبی تیرها ۱۶۵
کمانش ارتجاعی تیرها ۱۶۶
روابط آیین‌نامه ۱۶۶
تست‌های آخر فصل ۱۷۰
پاسخ تست‌های آخر فصل ۱۷۲

فصل هشتم: تیر – ستون‌ها

مقدمه ۱۷۷
اثر $P-\Delta$ ۱۷۷
تست‌های آخر فصل ۱۸۳
پاسخ تست‌های آخر فصل ۱۸۶

فصل نهم: تیر ورق‌ها

مقدمه ۱۹۳
ناپایداری‌های بال فشاری تیر ورق ۱۹۴
ناپایداری‌های جان تیر ورق ۱۹۴
نکاتی در رابطه با سخت‌کننده طولی ۱۹۷
تست‌های آخر فصل ۱۹۸
پاسخ تست‌های آخر فصل ۱۹۹

عنوان **صفحه**

فصل دهم: اتصالات

انواع اتصالات ۲۰۳
اتصال ساده‌ی تیرها ۲۰۴
اتصالات صلب تیر به ستون ۲۰۶
اتصالات پای ستون (کف ستون) ۲۰۶
ب) صفحاتی که فشار و لنگر تحمل می‌کنند: ۲۱۱
تست‌های آخر فصل ۲۱۴
پاسخ تست‌های آخر فصل ۲۱۶

سوالات سازه های فولادی آزاد سال ۱۳۸۹ ..... ۲۱۸
سوالات سازه های فولادی آزاد سال ۱۳۹۰ ..... ۲۲۳
سوالات طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲- راهسازی و روسازی راه)سراسری سال ۱۳۸۹ ..... ۲۲۷
پاسخنامه طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲- راهسازی و روسازی راه) سراسری سال ۱۳۸۹ ..... ۲۳۳
سؤالات طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲ – راهسازی و روسازی سراسری سال ۱۳۹۰ ..... ۲۳۴
پاسخنامه طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲ – راهسازی و روسازی سراسری سال ۱۳۹۰ ..... ۲۴۱
سؤالات سازه‌های فولادی ۱ و ۲ سراسری سال ۱۳۹۱ ..... ۲۴۲
پاسخنامه سازه‌های فولادی ۱ و ۲ سراسری سال ۱۳۹۱ ..... ۲۴۸
سؤالات طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲ – راهسازی و روسازی سراسری سال ۱۳۹۲ ..... ۲۴۹
پاسخنامه طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲ – راهسازی و روسازی سراسری سال ۱۳۹۲ ..... ۲۵۳

فصل اول

فولاد و خواص آن

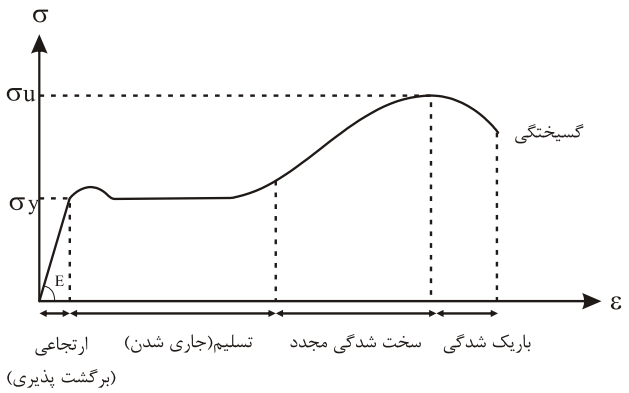
فصل اول

فولاد و خواص آن

آزمایش کشش مستقیم

این آزمایش که برای مصالح شکل‌پذیر مانند فولاد انجام می‌شود، با تحت کشش قراردادن یک میله انجام می‌شود بدین صورت که به صورت تدریجی مقدار نیرو را افزایش داده و تغییر طول متناظر با آن بدست می‌آید. از تقسیم نیرو بر مساحت سطح مقطع میله، تنش $(\sigma = \frac{P}{A})$ و از تقسیم تغییر طول بر طول میله کرنش $(\varepsilon = \frac{\Delta L}{L})$ و رسم این نقاط در یک نمودار شکل تنش-کرنش $(\sigma - \varepsilon)$ ماده حاصل می‌شود که شکل عمومی آن برای فولادهای متعارف ساختمانی به صورت زیر می‌باشد.

σ_y = تنش تسلیم (جاری شدن)



شکل ۱ـ۱: نمودار تنش – کرنش فولاد در درجه حرارت محیط

بیشتر سازه‌های مهندسی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که فقط تغییر شکل‌های نسبتاً کوچکی داشته باشند و تنها قسمت مستقیم‌الخط نمودار تنش- کرنش (ناحیه ارتجاعی) در مورد آن‌ها صادق است. با توجه به خطی بودن این قسمت می‌توان نوشت:

$$\sigma = E.\varepsilon$$

این رابطه قانون هوک نامگذاری شده است، ضریب E را مدول کشسانی (مدول الاستیسیته) ماده می‌نامند که مقدار آن برای فولاد در حدود $۲/۱\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشد.

انواع فولاد

۱- فولادهای کربنی
۲- فولادهای پرمقاومت کم آلیاژ
۳- فولادهای آلیاژی

فولادهای کربنی (ساده)

۱- فولاد کم کربن (کربن کمتر از ۰/۱۵ درصد)
۲- فولاد با کربن نسبتاً متوسط- فولاد نرمه- فولاد شکل‌پذیر (۰/۱۵الی ۰/۲۹ درصد کربن)
۳- فولاد با کربن متوسط- فولاد سخت (۰/۳ الی ۰/۵۹ درصد کربن)
۴- فولاد با کربن بالا- فولاد خشکه (۰/۶ الی ۱/۷ درصد کربن)

فولادهای پر مقاومت کم آلیاژ

بالا رفتن مقاومت این فولادها تنها با اضافه شدن بعضی از آلیاژها صورت می‌گیرد و هیچگونه عملیات حرارتی خاصی در تولید فولادها به عمل نیامده است.

فولادهای آلیاژی

به منظور دستیابی به مقاومت‌های بالا تسلیم، فولادهای پر مقاومت کم آلیاژ را تحت عملیات تبرید (سرمایش) و باز پخت قرار می‌دهند (اصلاح گرم).

توجه: برای جوشکاری این فولاد احتیاج به تمهیدات خاصی می‌باشد.

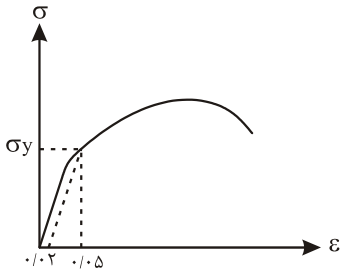
توجه: این فولادها دارای پله خمیری نیستند.

🕮 **نکته**: عملیات تبرید (سرمایش سریع) باعث:
۱- افزایش مقاومت
۲- کاهش شکل‌پذیری

🕮 **نکته**: عبارت بازپخت باعث:
۱- کاهش مقاومت و تنش تسلیم
۲- افزایش شکل‌پذیری و طاقت
۳- از بروز ترک در فولاد در حین جوشکاری جلوگیری می‌کند.

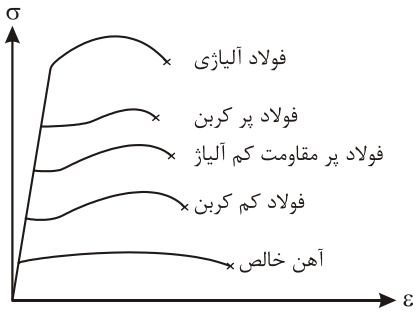
🕮 **نکته**: ترکیب این دو فرایند سبب بالا رفتن مقاومت ضمن حفظ شکل‌پذیری می‌شود.

بیشتر بدانیم



تنش تسلیم در فولادهای آلیاژی به تنشی اطلاق می‌شود که کرنش فولاد تقریباً ۰/۵ درصد باشد یا به طور دقیق‌تر از کرنش ۰/۲ درصد به موازات قسمت ارتجاعی منحنی تنش-کرنش خطی رسم کرده، تنش نقطه تقاطع این خط و منحنی را تنش تسلیم (σ_y) می‌نامند.

دو نوع معمول فولاد که در ساختمان‌های معمولی فولادی کاربرد فراوان دارند ST۳۷ و ST ۵۲ است.
عددی که بعد از ST درج می‌شود طبق استاندارد DIN آلمان معرف حد نهایی تنش در هنگام گسیختگی برحسب کیلوگرم بر میلی مترمربع است.



شکل ۱-۲: نمودار تنش- کرنش انواع مختلف فولاد

🕮 **نکته مهم:** بالا رفتن درصد کربن فولاد

۱- تنش تسلیم فولاد بالاتر رفته

۲- شکل‌پذیری آن کاهش یافته (ترد می‌شود)

۳- جوش‌پذیری آن کاهش پیدا می‌کند.

معایب فولاد

۱- آتش‌سوزی
۲- تردشکنی
۳- ترک و زخم و شکاف
۴- خستگی
۵- پارگی لایه‌ای (تورق)
۶- خوردگی فولاد (زنگ‌زدگی)

عملکرد فولاد در درجه حرارت‌های بالا

وقتی که دمای فولاد از مرز ^{oc}۹۵ می‌گذرد، کم‌کم منحنی تنش- کرنش فولاد شکل خطی خود را در ناحیه ارتجاعی از دست می‌دهد. برای جلوگیری از این کار حول مقاطع فولادی از گچ و اندود سیمانی یا رنگ یا ورق‌هایی استفاده می‌کنند.

🕮 **نکته:** درجه حرارت بالا در فولاد باعث:

۱- E، σ_y و مقاومت کششی کاهش می‌یابد.
۲- مقدار خزش فولاد ملاحظه خواهد شد.
۳- خاصیت شکنندگی فولاد در بیش از ^{oc}۵۱۰ افزایش می‌یابد.
۴- مقاومت در برابر اکسیدشدن در بیش از ^{oc}۵۴۰ به شدت کاهش می‌یابد.

تردشکنی

یک نوع خرابی فاجعه‌انگیز است که بدون تغییر شکل اولیه خمیری (که می‌تواند خبر دهنده باشد) به سرعت اتفاق می‌افتد.

🕮 **نکات:**

۱- هر چه دما پایین‌تر رود خطر تردشکنی افزایش خواهد یافت، همچنین در بالاتر از ^{oc}۵۴۰ رسوب عناصر آلیاژی فولاد سبب ایجاد ساختاری ترد می‌گردد.
۲- هر چه فولاد ضخیم‌تر باشد، خطر تردشکنی افزایش خواهد یافت.

۳- هر چقدر بارهای خارجی سریعتر وارد شوند، خطر تردشکنی بیشتر خواهد بود.
۴- عضوی که تحت تنش چند محوری باشد (بخصوص در محل اتصالات جوشی) خطر تردشکنی بیشتر می‌شود.
۵- وجود شیار یا زخم باعث افزایش تردشکنی می‌شود.
توجه: تردشکنی فقط تحت تنشهای کششی بوجود می‌آید.

ترک و زخم و شکاف

وجود شکاف سبب می‌شود که از جاری شدن خمیری نمونه جلوگیری شده، نمونه ناگهان شکسته و گسیخته شود.

خستگی

تکرار عمل بارگذاری و حذف بار اگر به دفعات قابل توجهی انجام گیرد. حتی اگر تنشی کمتر از تنش تسلیم ایجاد کند ممکن است نهایتاً به گسیختگی قطعه بیانجامد. یک چنین پدیده‌ای به نام خستگی شناخته می‌شود.
حد خستگی:تنش است که در تعداد دوره تناوب بسیار زیاد (بیش از دو میلیون) باعث گسیختگی می‌شود.

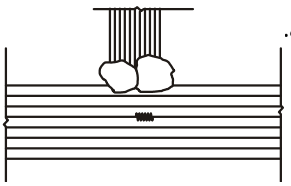
نکات:
۱- هر چه فولاد نرمتر باشد، مقاومت بیشتری در برابر خستگی خواهد کرد.
۲- به وجود آمدن تنش چند محوری از مقاومت در برابر خستگی خواهد کاست:

نکته: دو عامل در خستگی یک مقطع موثر است.
۱- $\Delta\sigma$
۲- تعداد دفعات تغییر تنش (N)

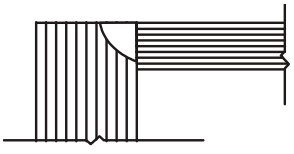
پارگی لایه‌ای (تورق)

بیشتر بدانیم

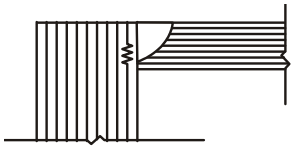
ساختار درونی چوب، مجموعه‌ای از الیاف به هم فشرده است که به موازات یکدیگر قرار دارند. در نتیجه مقاومت کششی چوب در امتداد طولی (به موازات الیاف) به مراتب بزرگتر از امتداد عرضی (عمود بر الیاف) می‌باشد.



عمل نورد نیز در واقع چنین ساختمانی را در داخل فولاد (البته با شدت کمتری) به وجود می‌آید.
تعریف: نوعی تردشکنی است که در فولاد مبنا در محل جوش اتفاق می‌افتد.
به سبب انقباض شدید فلز جوش، فولاد مبنا در بعد ضخامت خود در سطحی موازی سطح خارجی ترک لایه‌ای بر می‌دارد.
نکته: طرح جوش اتصال باید به نحوی باشد که انقباض جوش در جهت نورد قطعه عمل کند.



طرح مناسب



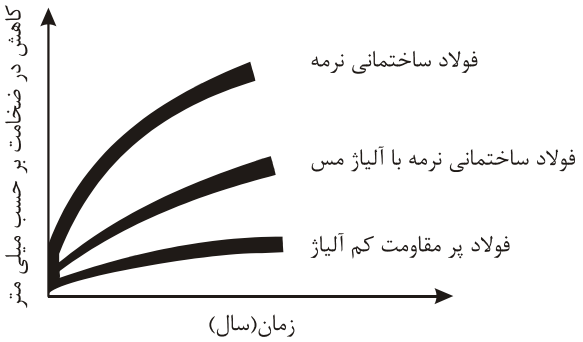
طرح مشکوک

خوردگی فولاد (زنگ زدن)

حفاظت فولاد در مقابل رطوبت و زنگ زدن

۱- انتخاب آلیاژ مناسب و مقاوم در برابر زنگ‌زدگی
۲- پوشاندن با یک پوشش سطحی (ضد زنگ)
۳- استفاده از فولاد گالوانیزه (روی اندود کردن فولاد)
۴- استفاده از فولاد هوازده ← برای اطلاعات بیشتر به درس ۱۷ زبان تخصصی عمران مراجعه شود .
۵- حفاظت کاتودیک

نکته: فولادهای پر مقاومت کم آلیاژ دارای مقاومت خوردگی به مراتب بیشتری از فولادهای نرمه معمولی هستند.



شکل۱-۳: مقایسه انواع فولاد از لحاظ مقاومت در مقابل خوردگی در آب و هوای معمولی

عملیات سرد و سخت‌شدگی مجدد

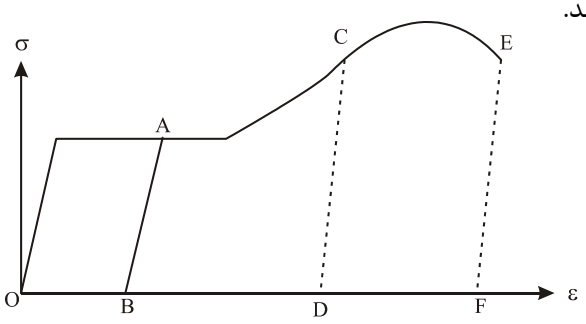
در آزمایش کشش فولاد، اگر نمونه در محدوده‌ی الاستیک باربرداری شود، نمودار تنش- کرنش روی نمودار اولیه به سمت مبدا مراجعت خواهد نمود و هیچگونه کرنش دائمی به وجود نخواهد آمد.

ولی اگر کرنش از کرنش جاری شدن ($\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E}$) تجاوز کند و نمونه باربرداری شود نمودار تنش- کرنش حالت باربرداری با حالت بارگذاری متفاوت خواهد بود.

مثلاً باربرداری در نقطه A (شکل ۱-۴) باعث تغییر شکل دائمی OB خواهد شد (شیب باربرداری با شیب ناحیه ارتجاعی یکسان خواهد بود).

با ایجاد این کرنش دائمی، ظرفیت شکل‌پذیری نمونه از کرنش نهایی OF به کرنش BF کاهش پیدا می‌کند.

در این صورت اگر نمونه مجدداً بارگذاری شود، همانند این است که مبدا نمودار به نقطه B منتقل شده است و نمودار تنش- کرنش مجدداً مسیر BACE را تا نقطه گسیختگی طی می‌کند.



شکل ۱-۴: سخت شدگی مجدد

حال اگر بارگذاری تا نقطه C انجام شود. نمودار باربرداری مسیر خطچین CD را طی خواهد کرد تا به نقطه D برسد. در این حالت مبدا بارگذاری جدید نقطه D خواهد بود و نمودار مسیر DCE را تا نقطه گسیختگی طی خواهد کرد.

توجه: با توجه به بزرگ‌تر بودن طول پاره خط CD از AB نتیجه می‌گیریم که تنش تسلیم افزایش پیدا کرده است. افزایش تنش تسلیم به سخت شدگی مجدد کرنش معروف است. با وجود افزایش تنش جاری شدن ملاحظه می‌گردد که ظرفیت شکل‌پذیری در حالت جدید به مقدار قابل ملاحظه OD از مقدار اولیه کاهش پیدا کرده است.

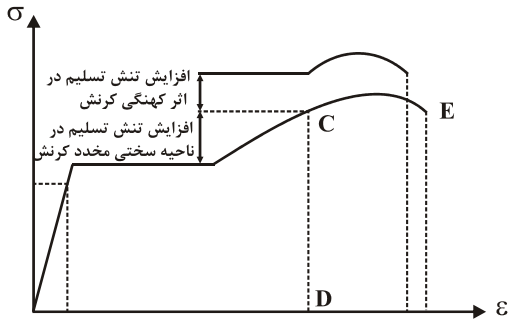
تعریف: فرآیند بارگذاری بیش از حد الاستیک در درجه حرارت اتمسفر، به طوری که باعث افزایش تنش جاری شدن و کاهش شکل‌پذیری گردد به عملیات سرد معروف است.

نمونه این حالت زمانی است که نیمرخ‌های ساختمانی با عملیات سرد، خم‌کاری و نورد ورق، ساخته می‌شوند که در محل خم‌ها تغییر شکل‌های غیرارتجاعی رخ می‌دهد که به افزایش مقاومت کششی و کاهش شکل‌پذیری می‌انجامد.

البته با بازپخت می‌توان این اثرات را از بین برده و مصالح را به حالت اولیه برگرداند.

بیشتر بدانیم

پس از مدتی که بار نمونه حذف شد، فولاد جدید خواص مکانیکی دیگری که آن را نمی‌توان با نقاط C، D و E (شکل ۱-۴) نشان داد از خود بروز می‌دهد. به پدیده‌ای که بر طبق آن یک چنین تغییر حالتی حاصل می‌شود کهنگی کرنش اطلاق می‌شودکه بر طبق آن فولاد جدید تنش تسلیم بالاتری از خود نشان داده، بار دیگر پله خمیری و ناحیه‌ی سختی مجدد کرنش خواهد شد.

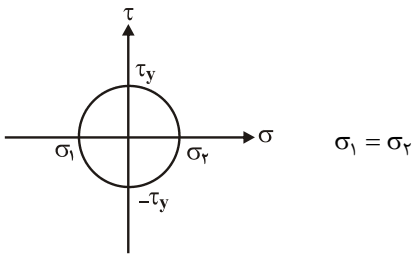


تأثیر کهنگی کرنش

برخی از مشخصات مهندسی فولاد

تنش تسلیم برشی (τ_y)

در شکل (۱-۵) دایره موهر مربوط به حالتی که تنش برشی خالص وجود داشته باشد. نشان داده شده است.



شکل ۱-۵

[مطابق تئوری انرژی حداکثر در تغییر شکل‌برشی (فرضیه‌های هیوبر- فون میسز- هنکی)
این فرمول در مقاومت مصالح به صورت کامل توضیح داده شده است و ما در اینجا فقط به ذکر فرمول بسنده می‌کنیم]
در تیرها و ستون‌ها و یا پوسته‌ها که $\sigma_۳$ صفر یا نزدیک صفر است داریم.

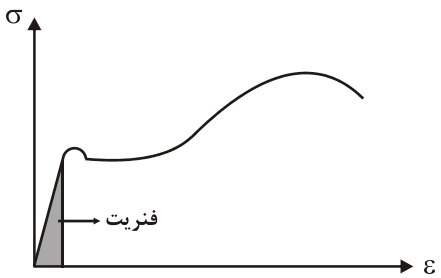
$$\sigma y^۲ = \sigma_۱^۲ + \sigma_۲^۲ - \sigma_۱\sigma_۲$$

$$\sigma_y^۲ = \sigma_۱^۲ + (-\sigma_۱)^۲ - \sigma_۱(-\sigma_۱) = ۳\sigma_۱^۲$$

$$\sigma_۱ = \tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{۳}}$$

فنریت

نشان دهنده‌ی قدرت جذب انرژی ارتجاعی مصالح است.
ضریب فنریت مقدار انرژی ارتجاعی قابل جذب توسط واحد حجم مصالح را می‌رساند که مقدار آن برای فولاد با سطح زیر منحنی تنش- کرنش تا شروع نقطه خمیری معین می‌شود.



شکل ۱ـ۶: تعریف فنریت

$$u_\circ = \frac{۱}{۲}\sigma E$$

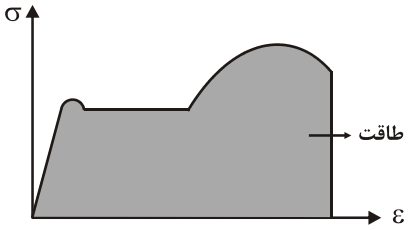
$$u_\circ = \frac{۱}{۲}E\varepsilon^۲$$

$$u_\circ = \frac{۱}{۲}\frac{\sigma^۲}{E}$$

🕮 **نکته:** با توجه به خارج نشدن از ناحیه خطی، تمام این انرژی قابل بازیابی می‌باشد.

طاقت (چقرمگی)

مقدار انرژی قابل جذب ارتجاعی و غیرارتجاعی توسط واحد حجم مصالح تا لحظه گسیختگی است.
سطح زیر نمودار تنش- کرنش در نقطه گسیختگی میزان طاقت ماده است.



شکل ۱-۷: طاقت

🕮 **نکته:** در مواردی که از فولاد انتظار جذب انرژی در ناحیه الاستیک می‌رود باید از فولاد با ضریب فنریت بیشتر و در مواردی که انتظار جذب انرژی در ناحیه پلاستیک می‌رود باید از فولاد با طاقت بیشتر استفاده نمود.

شکل‌پذیری

قابلیت تحمل تغییر شکل‌های خمیری بزرگ بدون ایجاد گسیختگی در ماده را گویند.

شکل‌پذیری معمولاً در آزمایش کششی، با اندازه‌گیری کاهش سطح مقطع و ازدیاد طول، تعیین و به صورت درصد بیان می‌شود. توجه داشته باشید که برای تعیین شکل‌پذیری از نقطه نظیر گسیختگی فولاد خطی به شیب E رسم می‌کنیم تا محور افقی (کرنش) را قطع کند، مقدار کرنش قرائت شده معرف شکل‌پذیری فولاد است.

قابلیت چکش‌خواری

معمولاً خاصیت چکش‌خواری توسط ضریب ψ که به آن ضریب چکش‌خواری می‌گویند و به نسبت کرنش شروع ناحیه سخت‌شدگی به کرنش شروع ناحیه پلاستیک است و به صورت $\psi = \frac{\varepsilon_{Sh}}{\varepsilon_y}$ نوشته می‌شود.

ضریب پواسون (ν)

مقدار تقریبی آن برای فولاد در محدودی ارتجاعی ۰/۳ و در ناحیه خمیری ۰/۵ است.

ضریب الاستیسته برشی (G)

ضریب الاستیسته برشی فولاد با استفاده از رابطه $G = \frac{E}{۲(۱+\nu)}$ مساوی $۰/۸\times۱۰^{۶}\ \frac{kg}{cm^{۲}}$ به دست می‌آید.

تست‌های آخر فصل

۱- با افزایش مقدار کربن در آلیاژ فولاد: (سراسری دانشگاه تهران ۷۰)

۱) جوش‌پذیری فولاد بهتر می‌شود.

۲) فولاد شکننده شده و مقاومت آن افزایش یافته و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

۳) فولاد شکننده شده و تغییر شکل‌پذیری آن افزایش یافته و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

۴) هیچ تأثیری در خواص فولاد به وجود نمی‌آورد.

۲- برای فولاد نرمه ساختمانی بین حد ارتجاعی برش F_{ys} و حد ارتجاعی کشسانی F_y کدام رابطه برقرار است؟

(سراسری ۷۴)

۱) $F_{ys} = F_y$

۲) $F_{ys} = \sqrt{\frac{۲}{۳}} F_y$

۳) F_{ys} ربطی به F_y ندارد.

۴) $F_{ys} = \frac{۱}{\sqrt{۳}} F_y$

۳- کدام یک از جملات زیر در مورد فولاد ساختمانی صحیح است؟ (سراسری۷۷)

۱) هر چه مقاومت نهایی نسبت به مقاومت جاری شدن فولاد بزرگ‌تر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

۲) هر چه تغییر شکل نسبی نظیر گسیختگی فولاد بیشتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

۳) هر چه سطح زیر منحنی تنش- کرنش فولاد از شروع بارگذاری تا نقطه گیسختگی بزرگتر باشد شکل‌پذیری آن بیشتر است .

۴) هر چه میزان کربن، فسفر و گوگرد در آلیاژ فولاد بیشتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

۴- سازه‌های فولادی که در مقابل بارهای دینامیکی قرار می‌گیرند. (سازه‌های هیدرولیکی آزاد ۷۷)

۱) شکنندگی ترد آن‌ها کاهش می‌یابد.

۲) تغییری در شکنندگی ترد آن‌ها اتفاق نمی‌افتد.

۳) شکنندگی ترد آن‌ها افزایش می‌یابد.

۴) خمیدگی آن‌ها افزایش می‌یابد.

۵- فولاد در مقابل حرارت (سازه‌های هیدرولیکی آزاد ۷۷)

۱) به ضریب الاستیسته آن اضافه می‌شود.

۲) به مقاومت کششی نهایی آن افزوده می‌شود.

۳) هیچکدام

۴) ضریب الاستیسته خود را از دست می‌دهد.

۶- فولاد نرمه ST – ۳۷ یعنی: (سازه‌های هیدرولیکی آزاد ۷۷و ۷۹)

۱) $F_u = ۳۷ \frac{kg}{mm^۲}$

۲) $F_u = ۳۷ \frac{kg}{cm^۲}$

۳) $Fy = ۳۷ \frac{kg}{mm^۲}$

۴) $F_y = ۳۷ \frac{kg}{cm^۲}$

۷- هر چه درصد کربن آهن بیشتر باشد: (زلزله آزاد ۷۸)

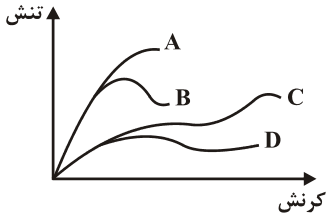
۱) شکل‌پذیر می‌شود.

۲) مقاومت فولاد پایین می‌آید.

۳) مقاومت فولاد بالا می‌رود.

۴) هیچکدام

۸- نمودار تنش- کرنش چهار نوع فولاد در شکل داده شده است. کدام نوع فولاد شکل‌پذیرتر می‌باشد. (کلیه گرایشها آزاد ۷۹)



۱) B
۲) C
۳) D
۴) A

۹- کدام عبارت صحیح است؟ (کلیه گرایشها آزاد ۷۹)

۱) بالا بودن میزان کربن در فولاد مقاومت آن را بالا برده و شکل‌پذیری آن را کاهش می‌دهد.
۲) بالا بودن میزان کربن در فولاد مقاومت و شکل‌پذیری آن را کاهش می‌دهد.
۳) بالا بودن میزان کربن در فولاد مقاومت و شکل‌پذیری آن را افزایش می‌دهد.
۴) بالابودن میزان کربن در فولاد مقاومت آن را کاهش و شکل‌پذیری آن را افزایش می‌دهد.

۱۰- کدامیک از عناصر زیر باعث ترد شدن فولاد می‌شود. (خاک و پی و سازه آزاد ۷۹)

۱) منگنز ۲) فسفر ۳) مس ۴) کروم

۱۱- پدیده خستگی در اثر ..... . (آزاد ۸۱)

۱) افزایش بار زنده به وجود می‌آید.
۲) تکرار بارگذاری به وجود می‌آید
۳) بار دائمی به وجود می‌آید.
۴) بار موقت ضربه به وجود می‌آید.

۱۲- چنانچه فولاد در برابر حرارت قرار گیرد. (آزاد ۸۱)

۱) مقاومت تسلیم آن کاهش می‌یابد.
۲) مقاومت تسلیم آن افزایش می‌یابد.
۳) مقاومت تسلیم آن تغییری ایجاد نمی‌شود.
۴) مقاومت تسلیم به حد جاری شدن می‌رسد.

۱۳- تنش مجاز کدامیک از کسرهای زیر است؟

۱) $\frac{F.s}{F_y} = \frac{\text{ضریب اطمینان}}{\text{تنش جاری شدن}}$
۲) $\frac{F_y}{F.s} = \frac{\text{تنش جاری شدن}}{\text{ضریب اطمینان}}$
۳) $\frac{F.s}{F_u} = \frac{\text{ضریب اطمینان}}{\text{تنش نهایی}}$
۴) $\frac{F_u}{F.s} = \frac{\text{تنش نهایی}}{\text{ضریب اطمینان}}$

۱۴- ضریب اطمینان فنریت فولاد خشکه و فولاد نرمه چگونه است.

۱) ضریب فنریت فولاد خشکه بیشتر است.
۲) ضریب فنریت فولاد نرمه بیشتر است.
۳) ضریب فنریت فولاد خشکه و فولاد نرمه با هم مساوی است.
۴) نمی‌توان متفاوت کرد

پاسخ تست‌های آخر فصل

۱-گزینه «۲»

با افزایش مقدار کربن در آلیاژ فولاد، جوش‌پذیری کاهش می‌یابد، فولاد شکننده‌تر می‌شود، مقاومت آن افزایش می‌یابد و تغییر شکل‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

۲-گزینه «۴»

همانطور که در متن درس بیان شد.

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \rightarrow F_{ys} = \frac{F_y}{\sqrt{3}}$$

درسنامه

رابطه‌ی فوق مؤید آن است که چنانچه در یک نقطه از ماده‌ای تنش برشی خالص داشته باشیم هر گاه مقدار این تنش به $\frac{\sigma}{\sqrt{3}}$ نزدیک شود این نقطه از ماده جاری خواهد شد و یا به عبارت دیگر تنش برشی خالص تسلیم در یک ماده زودتر از تنش کششی خالص اتفاق می‌افتد.

در فصول آینده از رابطه‌ی فوق برای طراحی سازه‌های فولادی که تحت تاثیر تنش‌های برشی قرار می‌گیرند استفاده خواهد شد.

σ_y تنش جاری شدن در حالت کشش تک محور می‌باشد.

۳-گزینه «۲»

بنابه متن درس هر چه کرنش نظیر گسیختگی بیشتر باشد. شکل‌پذیری بیشتر است. در گزینه ۴ با توجه به کربن می‌توان به نادرستی این گزینه پی برد.

۴-گزینه «۳»

درسنامه

فولاد در درجه حرارت و شرایط متعادل مصالح شکل‌پذیری می‌باشد، لیکن در شرایط خاصی می‌تواند حالت شکنندگی به خود بگیرد.

عوامل موثر در تردشکنی که توسط رلف (Rolf) تهیه شده عبارتند از:

درجه حرارت، سرعت بارگذاری، تمرکز تنش، وجود ترک‌های مویی، ضخامت ورق یا ممانعت از تغییر شکل، هندسه اتصال و اجرا

۵-گزینه «۴»

فولاد با افزایش دما تغییر رفتار می‌دهد و ضریب ارتجاعی (الاستیسته)، مقاومت کششی و تنش تسلیم آن کاهش می‌یابد.

بیشتر بدانیم

کاهش مقاومت فولاد به واسطه‌ی افزایش درجه حرارت، بزرگترین عیب سازه‌های ساخته شده از فولاد می‌باشد.
فولاد در اثر حریق مقاومت خود را ظرف مدت ۱۰ الی ۲۰ دقیقه به سرعت از دست می‌دهد.
این مدت زمان معین که کل ساختمان یا قسمت‌هایی از آن باید مقاومت کافی جهت نجات افراد و تخلیه اشیاء و اطفاء حریق داشته باشد در آیین‌نامه‌های حفاظت ساختمان در برابر حریق به عنوان درجه مقاومت ذکر شده است که با حرف F به همراه مدت زمان لازم مقاومت در دقیقه نشان داده می‌شود.
به طور مثال ساختمان و قطعات آن در درجه مقاومت حریق F۹۰ باید حداقل ۹۰ دقیقه در برابر آتشسوزی در دمای ۵۰۰ درجه مقاومت داشته باشند و درهم نشکنند.

۶-گزینه «۱»

جواب این تست عیناً در متن درس آمده است.

۷-گزینه «۳»

با بالا رفتن درصد کربن فولاد، تنش تسلیم آن بالا رفته، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

درسنامه

آلیاژ آهن تا مقدار ۲٪ کربن، چکش‌خوار است، مقدار ۲٪ کربن حد بین فولاد و چدن است.

۸-گزینه «۳»

طول ناحیه تسلیم (جاری شدن) نمودار تنش- کرنش حدود ۱۵ الی ۲۰ برابر کرنش نظیر حدخطی است. به این ناحیه محدودی پلاستیک گفته می‌شود که مشخص کننده خاصیت شکل‌پذیری فولاد بوده و عامل مهم در طراحی پلاستیک سازه‌ها می‌باشد.

۹-گزینه «۱»

بیشتر بدانیم

مهم‌ترین عامل مؤثر بر خواص مکانیکی فولاد، ساختمانی شیمیایی آن است.
کربن و منگنز موجود در فولادهای کربن‌دار، تأثیر بسزایی بر مقاومت، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری آن دارند. برای استفاده‌ی بهینه از کربن موجود در فولاد و نیز برای افزایش شکل‌پذیری فولاد، عناصر آلیاژی دیگر به آن می‌افزایند.
به طور کلی برای دستیابی به مقاومت‌های بالاتر باید تا حدی از شکل‌پذیری چشم‌پوشی کرد.

۱۰-گزینه «۲»

این تست اصلاً مربوط به رشته عمران نمی‌باشد! برای جواب دادن به تست لازم شد که جدول زیر بیان گردد.

عنصر آلیاژی		افزایش	کاهش
غیرفلز	کربن c	مقاومت– سختی– تردی و شکنندگی	نقطه ذوب– نرمی– کرنش– جوش‌پذیری– چکش‌کاری
	سیلیسیوم si	ارتجاعیت- مقاومت– سختی در گرما– مقاومت خوردگی– بیرون‌راندگی گرافیت	جوش‌پذیری
	فسفر p	تردی و شکنندگی در دمای پایین	کرنش– مقاومت ضربه‌ای
	گوگرد s	شکنندگی فرم‌دهی	مقاومت ضربه‌ای
فلز	منگنز Mn	مقاومت– مقاومت ضربه‌ای– شکل‌پذیری– مقاومت سایش	بیرون‌راندگی گرافیت
	نیکل Ni	نرمی– مقاومت– مقاومت خوردگی– هدایت برق– مقاومت در مقابل گرما	انبساط حرارتی
	کرم cr	سختی– مقاومت– مقاومت حرارتی– دمای سختی– مقاومت سایش– مقاومت خوردگی	کرنش به مقدار کم
	وانادیم v	مقاومت دائم– سختی– نرمی– مقاومت حرارتی	حساسیت در دماهای بالا
	ملبیدن Me	سختی– مقاومت حرارتی– مقاومت دائم	کرنش– چکش‌خواری
	کوبالت co	سختی– حفظ برندگی– مقاومت حرارتی	نرمی– حساسیت برعلیه دما
	ولفرام w	سختی– مقاومت- مقاومت خوردگی– دمای سختی– مقاومت حرارتی	کرنش به مقدار کم

اثرات آلیاژهای مختلف بر روی خواص فولاد

۱۱-گزینه «۲»

پدیده خستگی به علت تکرار بارگذاری ایجاد می‌شود. ناگفته پیداست که بار مورد نظر بار زنده است.

توجه بار دائمی یا همان بار مرده موجب خزش می‌شود.

۱۲-گزینه «۱»

نکته: منظور از حرارت زیاد تنها آتشسوزی نمی‌باشد بلکه در جوشکاری نیز ممکن است رخ دهد.

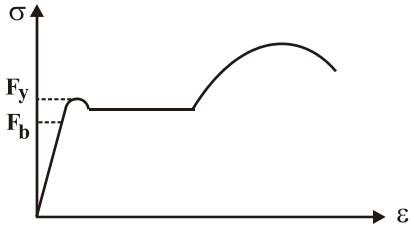
نکته انحرافی که در گزینه ۴ وجود دارد توسط توضیحات زیر بیان می‌گردد.

وقتی دما از ۹۳ درجه سانتیگراد تجاوز کند، نمودار تنش- کرنش از حالت خطی خارج شده و به تدریج نقطه جاری شدن از حالت مشخص خارج می‌شود. با افزایش درجه حرارت ضریب الاستیسته، تنش جاری شدن و مقاومت کششی کاهش می‌یابند. در محدوده‌ی بین ۴۳۰ تا ۵۴۰ درجه سانتیگراد، سرعت کاهش حداکثر است.

۱۳-گزینه «۲»

درسنامه

برای طراحی سازه‌ها، تنشهایی که در نقاط مختلف یک سازه محاسبه می‌شوند ممکن است با مقادیر واقعی آن‌ها تفاوت داشته باشند، از این رو اعمال یک حاشیه اطمینان در ضوابط طراحی ضروری است. یعنی تنش مجاز F_b باید کمتر از تنش تسلیم (Fy) باشد که برای تعیین تنش مجاز آن را کسری از تنش تسلیم در نظر می‌گیرند.



$$F_b = \frac{F_y}{\text{عددی بزرگتر از ۱}}$$

ضریب اطمینان
F.S

۱۴-گزینه «۱»

طبق تعریف انرژی نظیر حد خطی که مساوی $\frac{۱}{۲}\sigma y.\varepsilon y$ است و به طور ترسیمی مساوی سطح زیر نمودار تنش- کرنش تا حد خطی می‌باشد، ضریب فنریت نامیده می‌شود.

مسلماً مقدار آن برای فولاد خشکه به خاطر داشتن σ_y بزرگتر، بیشتر از فولاد نرمه می‌باشد.

فصل دوم

اعضای کششی