دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

مکانیک شکست

اهداف درس

- شناخت و تسلط بر مبنای مکانیک شکست
- به‌کارگیری روابط حاکم بر مکانیک شکست در مسایل کاربردی
- پیاده‌سازی مسایل مکانیک شکست به روش اجزای محدود
- توانایی تفسیر و ارزیابی قطعات شکسته شده
- شناخت مزیت‌های رویکرد مکانیک شکست و محدودیت‌ها آن

دلایل شکست

- عیوب حاصل از فرایندهای ساخت
- طراحی نامناسب
- جنس نامناسب
- شرایط محیطی (تغییر شرایط محیط کاربرد، تغییر بارگذاری)
- شرایط عملکردی: خستگی، خوردگی، خزشی، تردی هیدروژنی

انواع شکست

- شکست: جدایی قسمتی از جسم حاصل از تنش (در دمای پایین‌تر از نقطه ذوب)
- مراحل شکست:
  - ایجاد ترک: Crack formation
  - رشد ترک: Crack propagation
- با توجه به بروز و یا عدم بروز تغییر شکل پلاستیک می‌توان نوع شکست یک جسم را به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد.
  - شکست ترد: Brittle Fracture
  - شکست نرم: Ductile Fracture

شکست ترد و شکست نرم

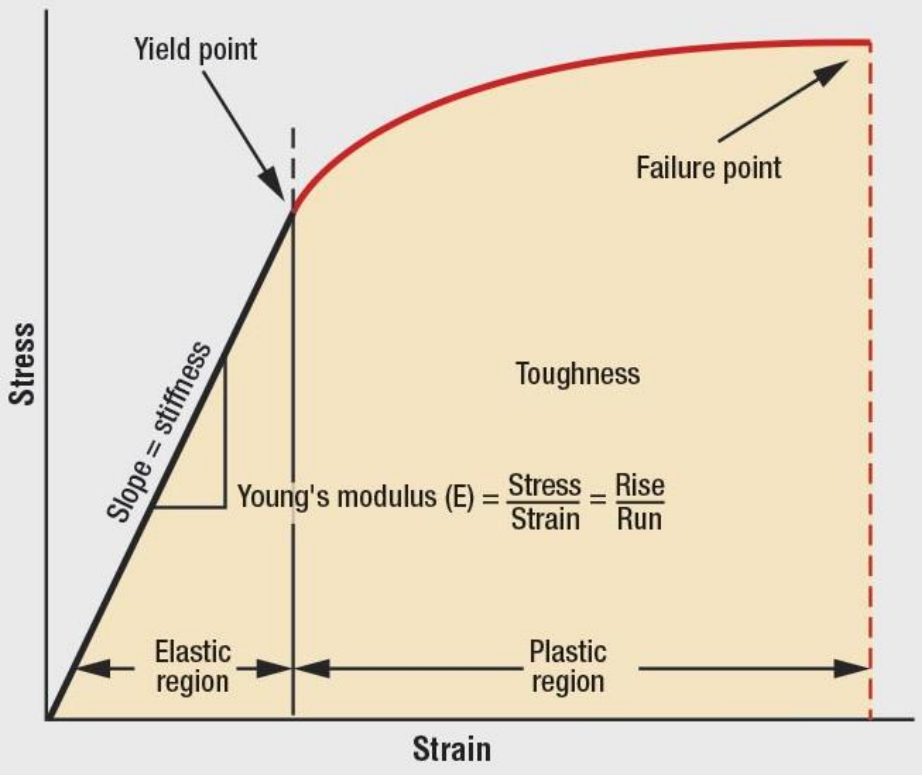
- در انواع مختلف شکست از جمله شکست خستگی، شکست خزشی، شکست *متاثر از محیط اطراف* و شکست *ناشی از خوردگی تنشی* در پایان فرایند شکست نهایی به صورت شکست ترد و یا شکست اتفاق می‌افتد.
- برای تعیین نوع و مکانیزم شکست، ساختار سطح شکست توسط میکروسکوپ الکترونیکی مورد بررسی قرار می گیرد.

شکست ترد و شکست نرم

- شکست ترد: سنگ، سرامیک و برخی از فلزات (سرد)
  - ناحیه تغییرشکل پلاستیک در جلوی ترک بسیار محدود است.
  - ترک ناپایدار است: ترک به صورت ناگهانی بدون افزایش تنش (بار) اعمالی رشد می‌کند.
- شکست نرم: بیشتر فلزات (نه در دماهای خیلی پایین)
  - تغییرشکل پلاستیک در جلوی ترک گسترش می‌یابد.
  - ترک پایدار است: ترک تنها با افزایش تنش (بار) اعمالی رشد می‌کند.
- ***در بیشتر کاربردهای مهندسی ترجیح با شکست نرم است.***

چقرمگی (سفتی)؛ Toughness

برای بروز شکست (ایجاد ترک) در یک قطعه؛ باید انرژی لازم جهت ایجاد سطوح جدید تامین گردد. این انرژی توسط بارگذاری بر قطعه حاصل می‌شود. به انرژی ذخیره شده در ماده هنگام بارگذاری تا رسیدن به شکست را، چقرمگی (یا سفتی) ماده می‌گویند.

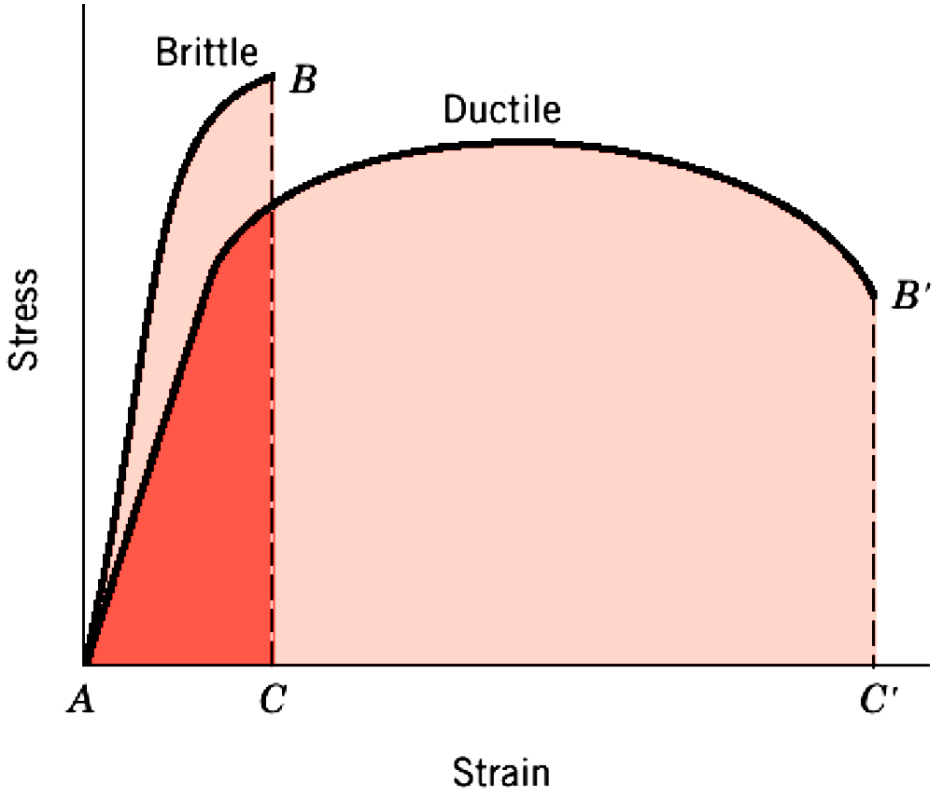


Toughness = the ability to absorb energy up to fracture
= the total area under the strain-stress curve up to fracture

$$= \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

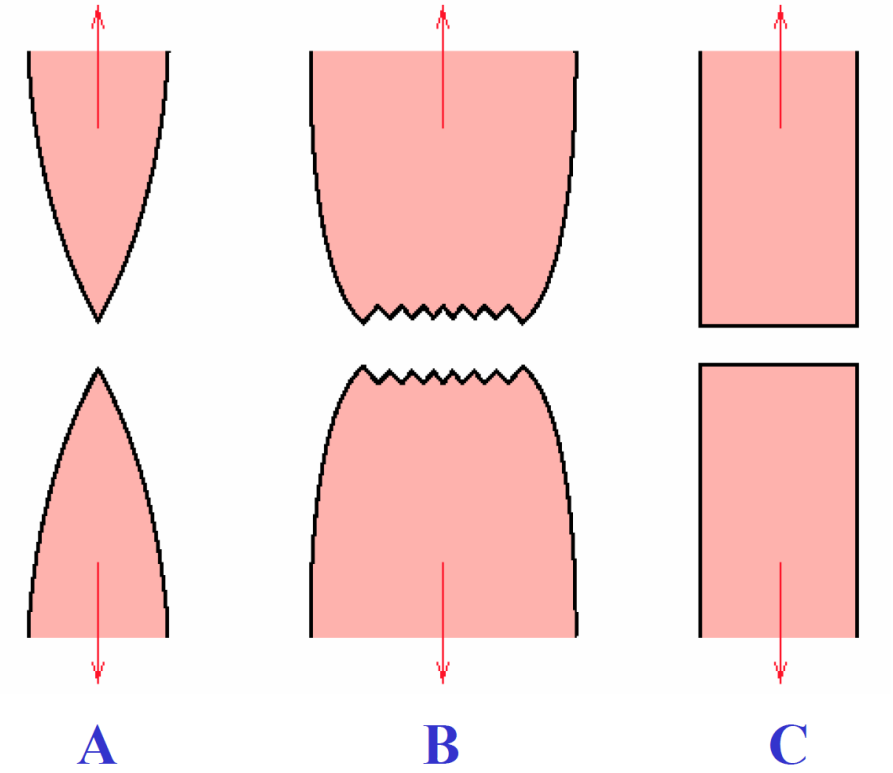
شکست ترد و شکست نرم

- مواد ترد: تغییرشکل پلاستیک کم و جذب انرژی کم قبل از شکست
- مواد نرم: تغییرشکل پلاستیک گسترده و جذب انرژی زیاد (Toughness) تا قبل از شکست

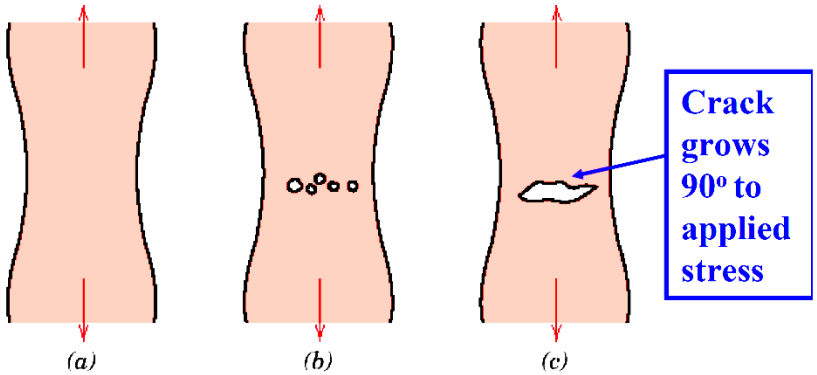


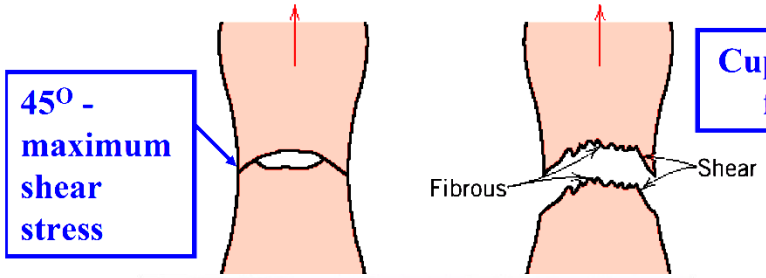
شکست ترد و شکست نرم

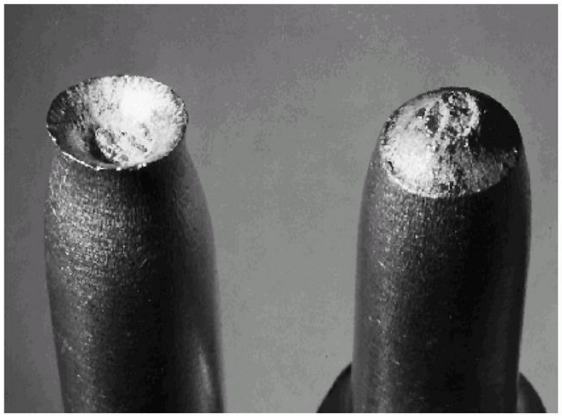
- A: شکست مواد خیلی نرم: فلزات نرم (مانند سرب، نقره) در دمای محیط، پلیمرها و شیشه در دمای بالا
- B: شکست مواد نرم رایج و متداول: بیشتر فلزات
- C: شکست مواد ترد: سرامیک



شکست نرم در بارگذاری کششی



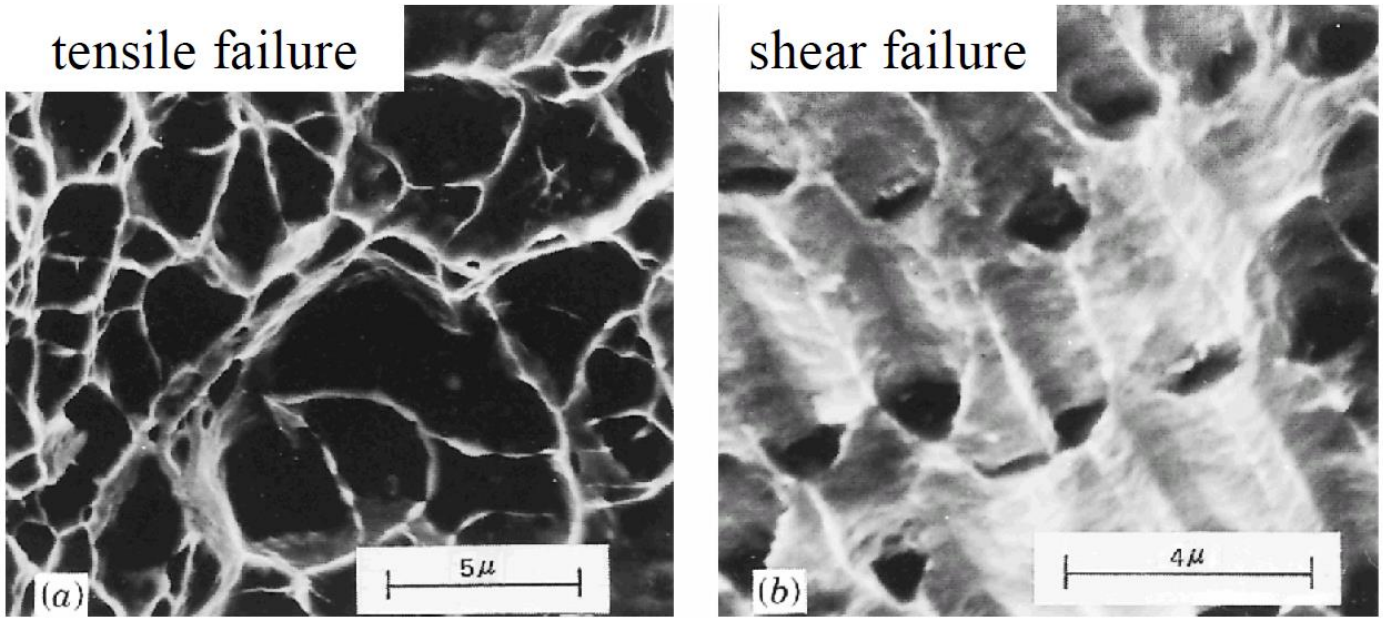




(Cup-and-cone fracture in Al)

- a: گلویی شدن (**Necking**)
- b: ایجاد ریزحفره‌ها
- c: به‌هم پیوستن ریزحفره‌ها تا تشکیل ترک
- d: رشد ترک به وسیله تغییر شکل برشی
- e: شکست

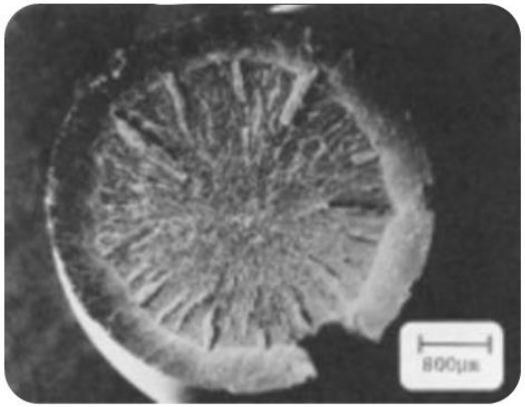
شکست نرم



- مطالعه شکست‌نگاری (تصاویر SEM)در شکست نرم گودی‌هایی کروی در سطح شکست را نشان می‌دهد که بیانگر ریزحفره‌هایی است که ترک‌های ماکروسکوپی در قطعه را به وجود می‌آورند.

شکست نرم

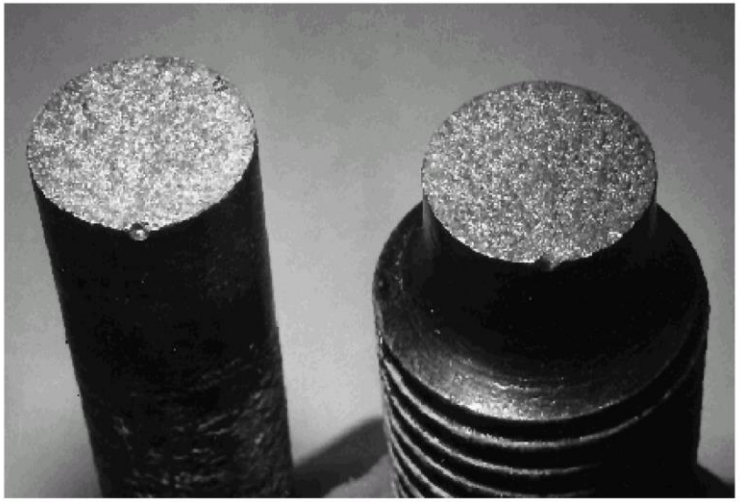
مشخصات ماکروسکوپی شکست نرم



- سطح کدر
- حفره حفره
- دارای لبه برشی

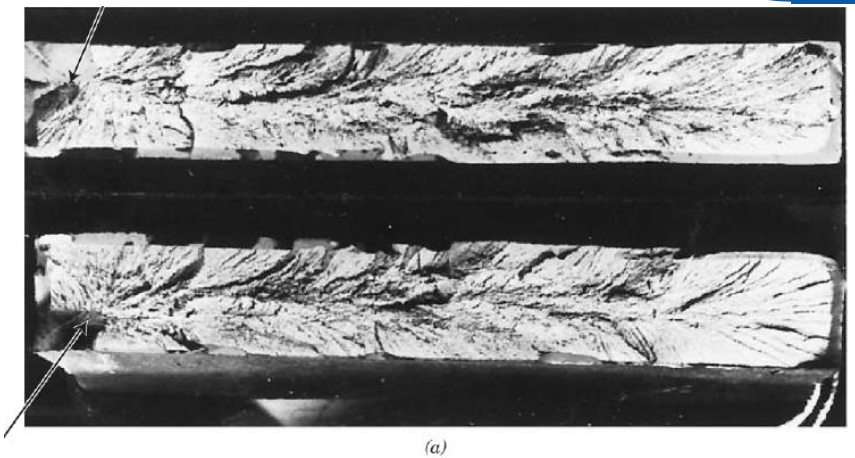
- ✓ رشته‌ای: رشد آهسته و پایدار ترک (به هم پیوستن ریزحفره‌ها که از شکستن ذرات کوچک حاصل می شوند- شبیه به دایره‌های محیطی؛ که بیانگر تغییرات محدود و رشد پایدار ترک است)
- ✓ شعاعی: رشد ناپایدار و سریع ترک؛ شکست آخال‌های جهت دار
- ✓ لبه برشی

مشخصات شکست ترد



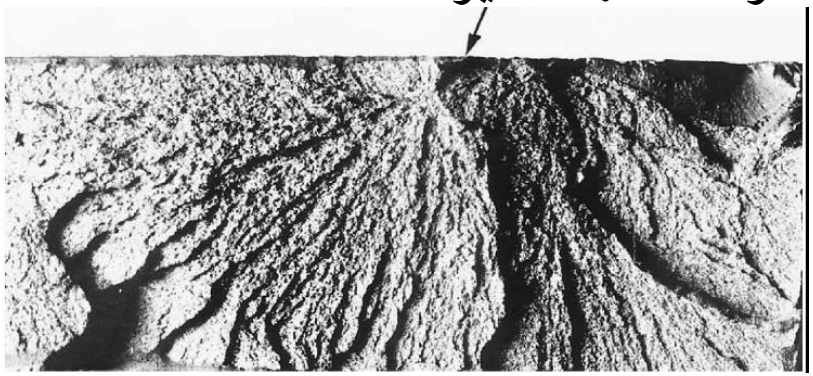
- تغییرشکل پلاستیک اتفاق نمی‌افتد.
- رشد ترک سریع خواهد بود.
- رشد ترک تقریباً عمود بر امتداد اعمال تنش است.

شکست ترد


(a)

مشخصات ماکروسکوپی شکست ترد

- سطح شکست نسبتا مسطح
- سطح شکست براق
- حضور علائم مشخص که به سمت مبدا ترک جهت‌گیری شده‌اند (اگر ترک چند شاخه شود همگی به سمت مبدا ترک جهت‌گیری شده‌اند).



عوامل ایجاد شکست ترد:

کاهش دما، افزایش سرعت کرنش، حضور شیار تیز، افزایش ضخامت نمونه

تقسیم‌بندی شکست از دیدگاه بلورشناسی

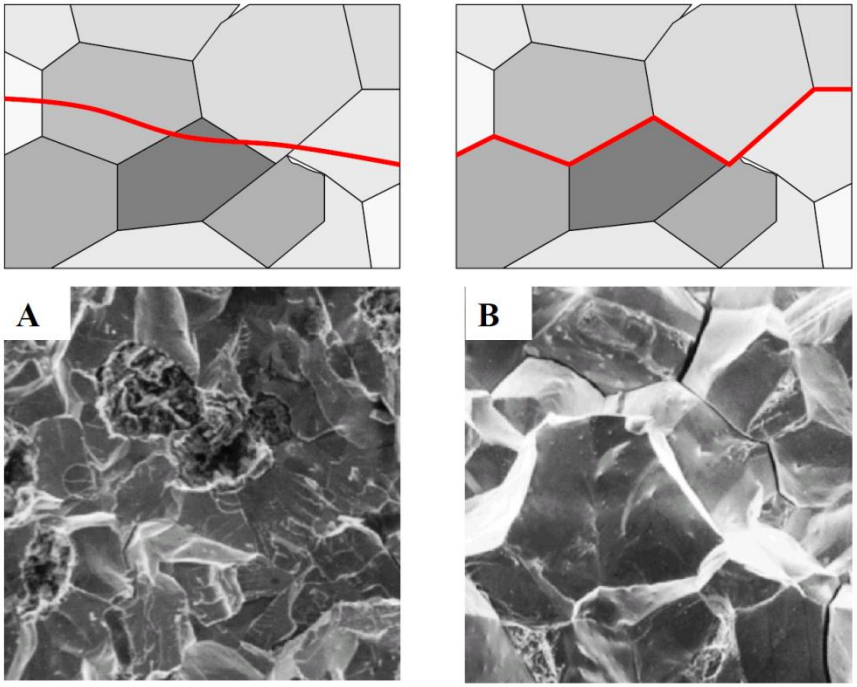
➢ شکست برشی (Shear Fracture)

شکست برشی در اثر تغییرشکل زیاد (در صفحات لغزش فعال) - که حاصل تنش‌های برشی است- به وجود می‌آید و سطح شکست تیره رنگ و کدر است.

➢ شکست تورقی (Cleavage Fracture)

شکست تورقی (کلیواژ، رخ‌برگی) توسط تنش‌های کششی عمودی (عمود بر صفحات تورقی) به وجود می‌آید. سطح شکست براق و شکست به صورت درون‌دانه‌ای خواهد بود.

تقسیم‌بندی شکست بر مبنای رشد ترک



A. Transgranular fracture, B. Intergranular fracture

A- شکست درون‌دانه‌ای

ترک‌ها از درون دانه‌ها عبور می کنند.

شکست ترد در فلزات بیشتر به صورت درون‌دانه‌ای است.

B - شکست مرزدانه‌ای

شکست مرزدانه‌ای بین دانه‌ها و در امتداد مرز دانه‌ها ظاهر می‌شود.

دلیل این نوع شکست وجود ناخالصیها یا جدایش و رسوب عناصر یا فازهای ترد و شکننده در امتداد مرز دانه‌ها است.

تقسیم‌بندی شکست از دیدگاه شکل ظاهری

➢ رشته‌ای یا الیافی (Fibrous)

سطح مقطع حاصل از شکست برشی در بزرگنمایی کم خاکستری (مات و کدر) و به صورت رشته‌ای به نظر می‌رسد و با فرورفتگی و برآمدگی‌هایی ریز زیادی همراه است.

➢دانه‌ای (Granular)

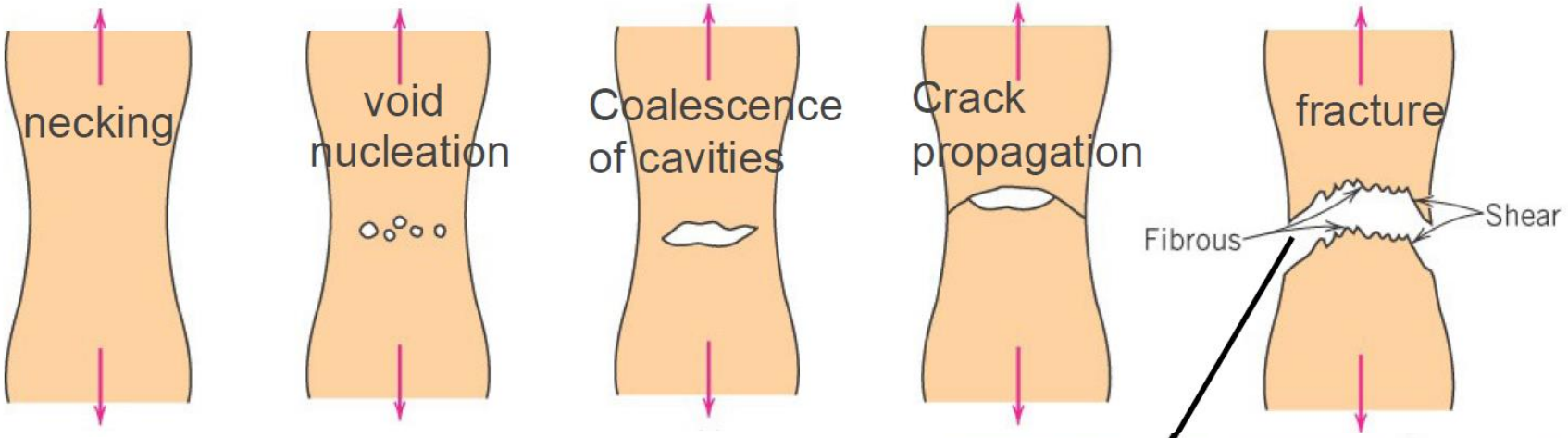
سطح شکست تورقی به دلیل بازتاب نور از سطوح تورقی همواره براق و به صورت دانه ظاهر می‌شود.

معمولا سطح شکست شامل ترکیبی از شکست دانه‌ای و رشته‌ای است و به صورت درصد شکست هر یک بیان می‌شود.

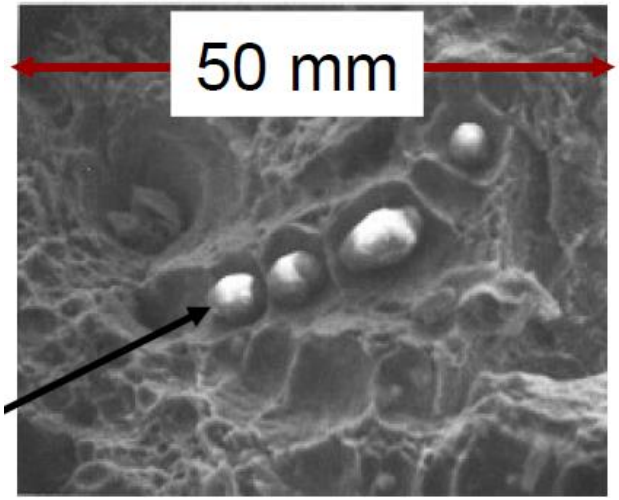
تقسیم‌بندی شکست از دیدگاه شکل ظاهری

رشته‌ای یا الیافی (Fibrous)

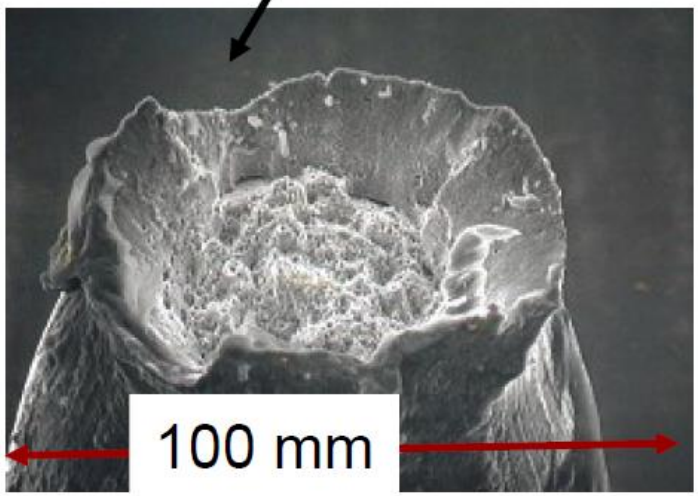
مراحل شکست نرم در یک نمونه کششی :



سطح شکست در یک نمونه فولادی



ذرات به عنوان نقطه آغاز پیدایش ریزحفره‌ها عمل می‌کنند.



شکست ترد، Brittle Fracture

حالت‌های مختلف شکست

مشخصه شکست	عنوان توصیفی شکست	
کرنش (تغییر شکل)	نرم	ترد
شکل ظاهری شکست	رشته‌ای	دانه‌ای
بلور شناختی	برشی	تورقی(رخ‌برگی)
رشد ترک	درون‌دانه‌ای	مرز دانه‌ای

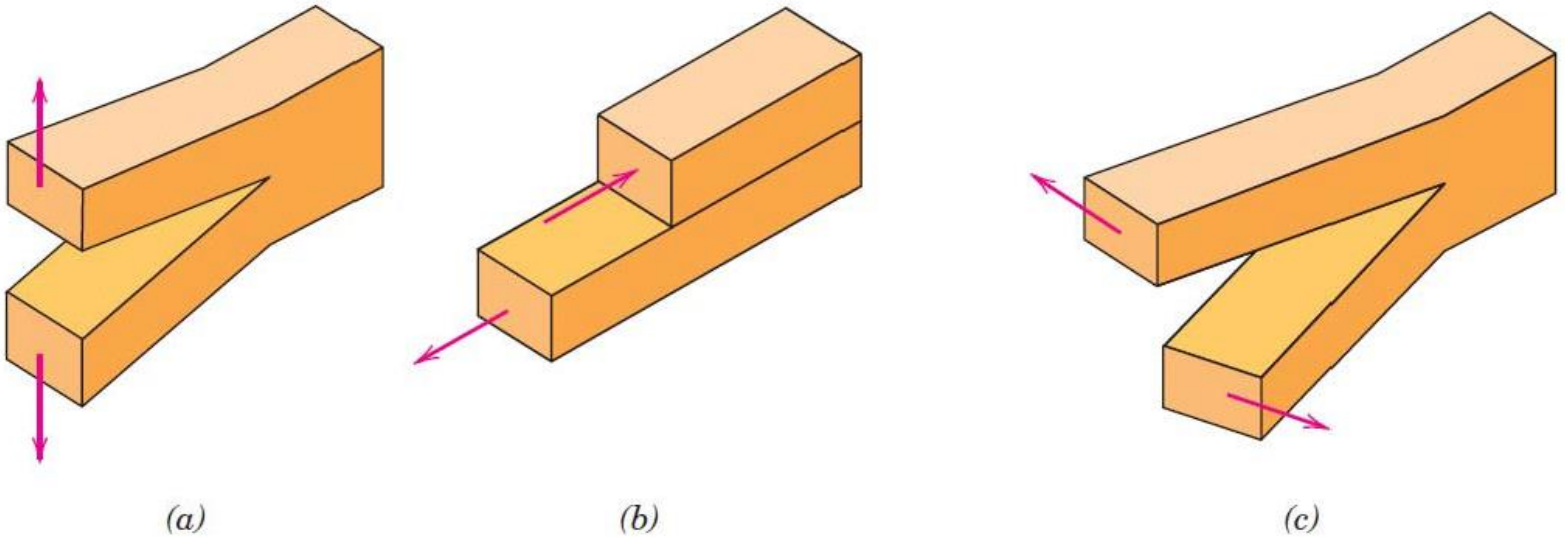
خصوصیات شکست نرم و ترد

مشخصه	شکست نرم	شکست ترد
انرژی کرنشی مورد نیاز	زیاد	کم
تنش (هنگام بروز ترک)	افزایشی	ثابت
سرعت رشد ترک	آهسته	سریع
علایم هشداری	تغییر شکل پلاستیک	بدون هشدار
تغییرشکل	وسیع	محدود
سطح شکست	زبر و خشن، کدر	هموار، براق
گلویی شدن	آری	خیر
نوع ماده	بیشتر فلزات (نه دمای خیلی پایین)	سرامیک، شیشه و فلزات در دمای پایین

پارامترهای موثر در شکست

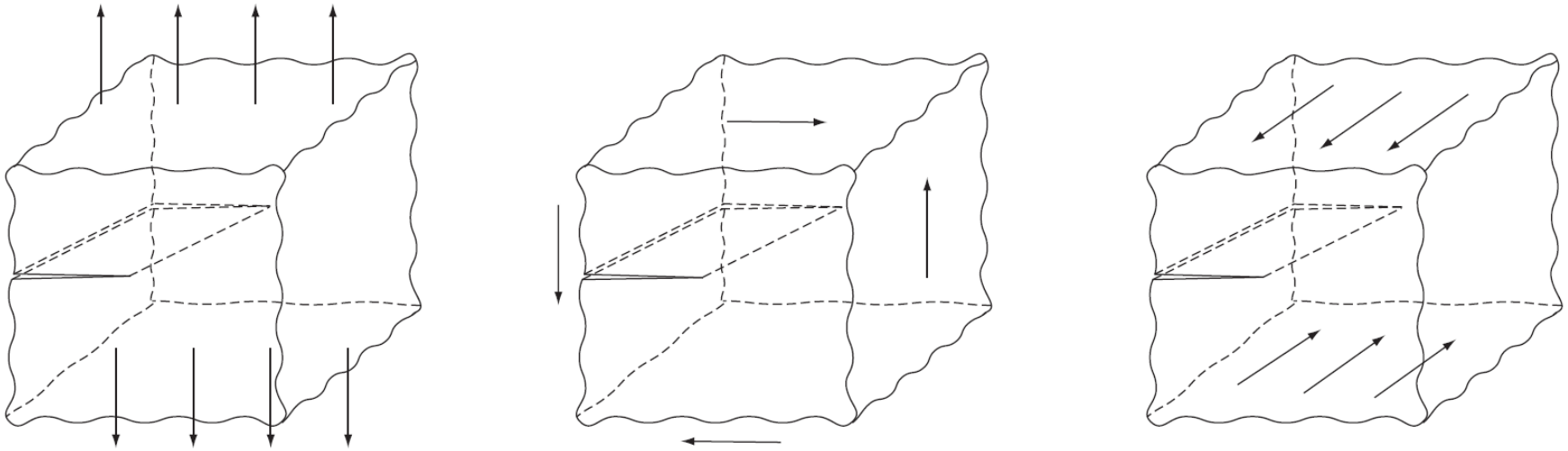
- ترکیب شیمیایی
- درجه حرارت
- سرعت بارگذاری
- وضعیت تنش

➢مودهای مختلف شکست



(*a*) Mode I, opening or tensile mode; (*b*) mode II, sliding mode; and (*c*) mode III, tearing mode.

- مودهای مختلف شکست



(*a*) Mode I, opening or tensile mode; (*b*) mode II, sliding mode; and (*c*) mode III, tearing mode.