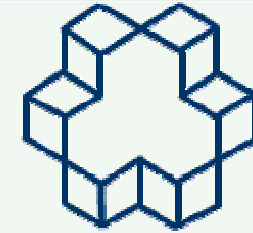


رسالة محمد



دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد



شکست، خستگی و خزش

جلسه دوم

(واماندگی - تعریف، انواع اثرات ترکیبی)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

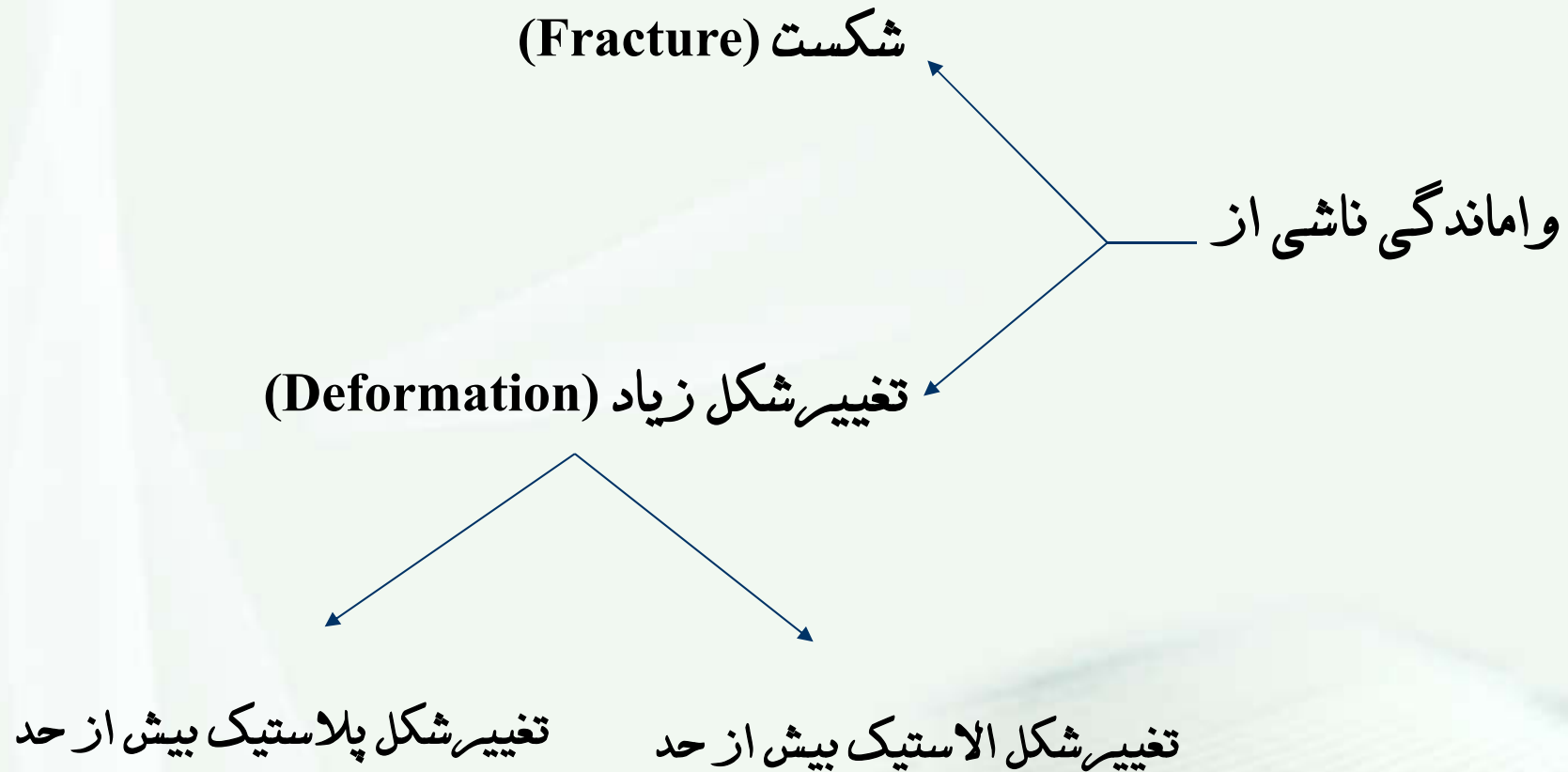


واماندگی یا انهدام یا از کار افتادگی (Failure)

فرآیندی است که منجر به بدون استفاده شدن جسم در کاربرد مورد نظر می شود. در این حالت ممکن است شکل ظاهری قطعه یا سازه کاملاً بدون نقص باشد، ولی توانایی استفاده برای کارهای مهندسی را نداشته باشد. در کل، از کار افتادگی یعنی ماده توانایی عمل تحت بار در شرایط مورد نظر را از دست داده و از نظر ساختاری برای شرایط مورد نظر قابل استفاده نیست، ولی ممکن است همین ماده در جای دیگر قابل استفاده باشد.

از کار افتادگی به ۳ صورت روی می دهد:

- الف) تغییر شکل الاستیک بیش از حد
- ب) تغییر شکل پلاستیک بیش از حد
- ج) شکست





الف) تغییر شکل الاستیک بیش از حد:

✓ در حالت تعادل پایدار: بار اعمالی روی ماده سبب تغییر شکل الاستیک بیش از حد به صورت همگن می شود. یعنی میزان کرنش الاستیک از میزان لازم بیشتر است و سازه کارایی خود را از دست می دهد. منظور آن است که طراحی یا شرایط به گونه ای بوده که تغییر شکل الاستیک برای آن کاربرد خاص از حد مورد نظر گذشته است.

✓ در حالت نامتعادل یا کمانش: تغییر شکل الاستیک به صورت ناهمگن است و تغییر شکل موضعی داریم.

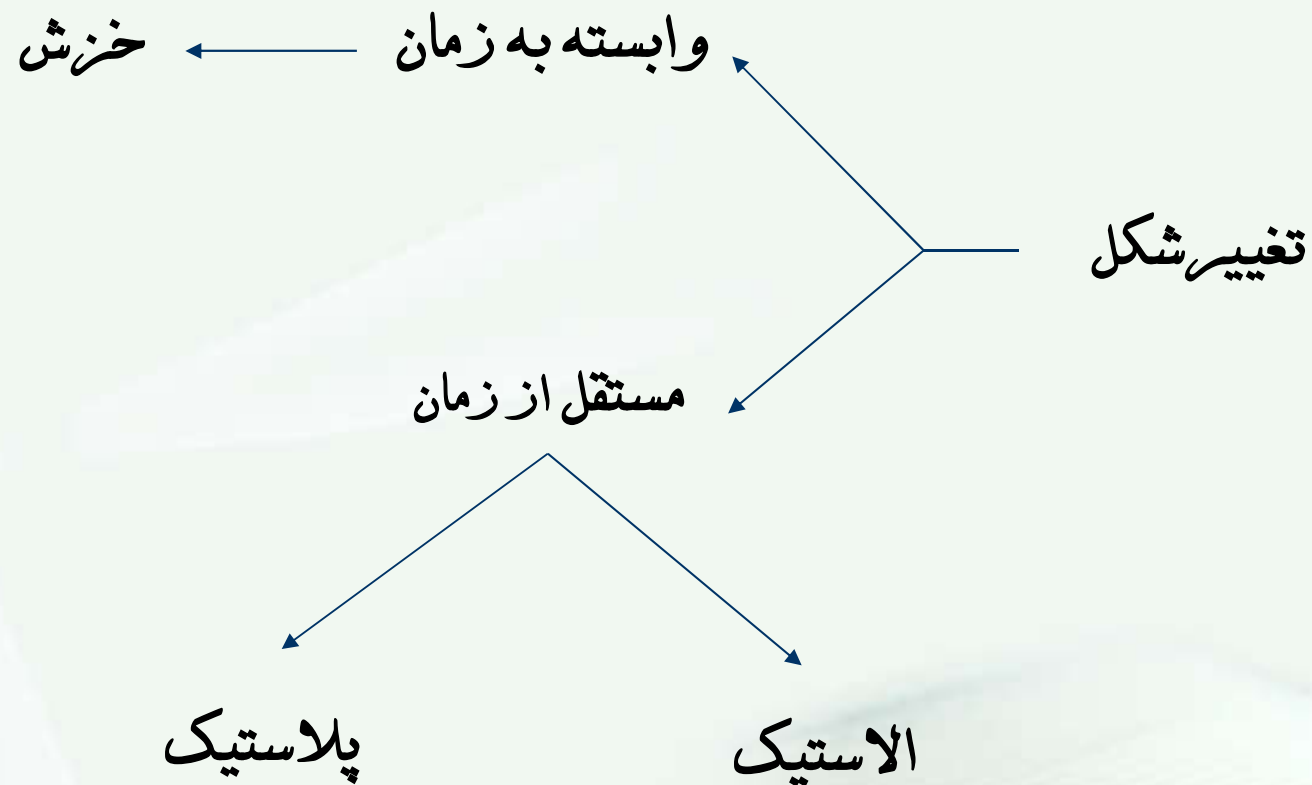
در هر دو حالت فوق، با افزایش مدول، احتمال از کار افتادگی کاهش می یابد.



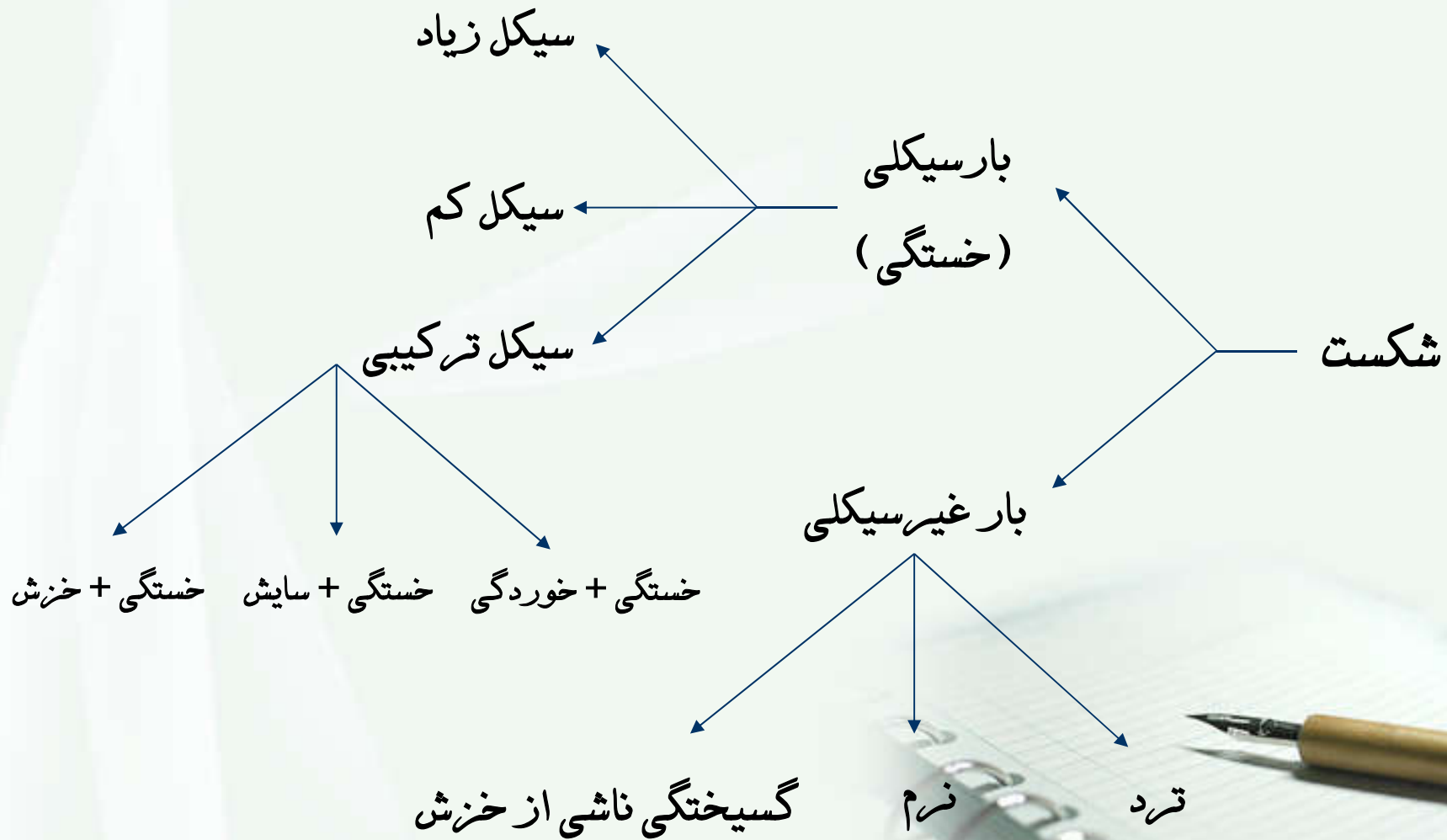
ب) تغییر شکل پلاستیک بیش از حد:

- ✓ در دمای پایین: اگر بیش از حد مجاز تغییر کل پلاستیک روی دهد، این تغییر شکل ناهمگن است و جسم ناپایدار می شود که ناپایداری پلاستیک در حالت تک محوری، گردنی شدن نام دارد. این حالت، وقتی که تنش از حد ماکزیمم (استحکام کششی) بیشتر شود، روی می دهد.
- ✓ در دمای بالا: ماده در تنش یا بار ثابت در طول زمان کرنش می کند که خزش نام دارد. این خزش باعث و اماندگی می شود، ولی منجر به گسیخته شدن و ۲ یا چند تکه شدن نمی شود، ولی خزش در حالت شکست منجر به این پدیده می شود.

تقسیم بندی تغییر شکل



تقسیم بندی شکست





ج) شکست:

شکست، گسیخته شدن پیوندهای اتمی در ماده است و سبب می شود ماده، پیوستگی خود را از دست بدهد که عموماً با ایجاد ترک و رشد آن شروع می شود.

انواع شکست:

✓ شکست ناشی از افزایش پیوسته تنش

الف) شکست ترد

ب) شکست نرم

✓ شکست تدریجی پیش رونده ناشی از تنش های متناوب پایین تر از حد تنش

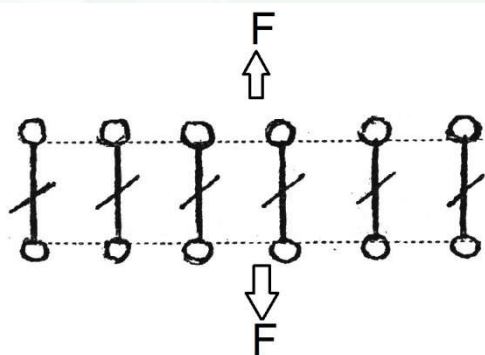
شکست ماده (خستگی)

✓ شکست با تاخیر ناشی از تنش های طولانی در دمای بالا (خزش)

شکست



شکست، جدایش یا مجزا شدن یک جسم جامد به دو یا چند قسمت تحت اعمال تنش می باشد. در یک فلز ایده آل که فاقد هرگونه عیب یا نقص باشد، شکست زمانی روی می دهد که تنش اعمالی بر جسم بتواند در عرض یک صفحه اتمی عمود بر نیروی کشش بر نیروی پیوند اتم ها غلبه کند. اما در عمل فلزات در تنش های بسیار کمتر از تنش تئوری یا استحکام تئوری می شکنند. علت آن وجود ناخالصی ها و ناپیوستگی ها در ساختار فلزات و طبیعت پلی کریستالی بودن آنها و انباشت نابجایی ها در مرزدانه یا نزدیک مرزدانه است.





انواع شکست:

✓ ترد یا کلیواژ (**Brittle**): نظیر شیشه و چدن و سنگ و پلاستیک

✓ نرم یا چکش خوار (**Ductile**): نظیر اکثر فلزات (فولاد، سرب، آهن و بسیاری

از پلاستیک ها نظیر پلی اتیلن)



شکست نرم:

- ✓ تغییر شکل پلاستیک قابل ملاحظه جسم قبل و در حین انتشار ترک
- ✓ وجود مقدار قابل ملاحظه ای از تغییر شکل در سطوح شکست نرم
- ✓ انجام شکست در ناحیه پلاستیک
- ✓ ناشی از لغزش زیاد اتم ها روی صفحات لغزش فعال و حرکت نابجایی ها در امتداد صفحات لغزش
- ✓ ناشی از تنش های برشی



شکست ترد:

- ✓ سرعت انتشار سریع ترک بدون تغییر شکل
- ✓ جدایش ناگهانی و کامل اتم ها ناشی از جدایش پیوندهای اتمی روی صفحات اتمی
- ✓ تغییر شکل پلاستیک ناچیز قبل از شکست
- ✓ انجام شکست در محدوده الاستیک
- ✓ سطح شکست عمود بر جهت اعمال نیرو
- ✓ ناشی از تنش های کششی عمود بر صفحه کلیواژ



شکست ترد:

- ✓ انجام شکست در صفحات خاص کریستالوگرافی (صفحات کلیواژ)
- ✓ در فلزات با ساختار **bcc** و **hcp** و آلیاژهای آنها در دماهای پایین، سرعت کرنش بالا و تنش سه بعدی. در فلزات **fcc** مشاهده نشده، مگر آن که عواملی وجود داشته باشند که به شکنندگی مرزدانه ای کمک کنند.
- ✓ صفحات کلیواژ در **bcc** و **hcp** به ترتیب $\{100\}$ و $\{0001\}$ هستند (در **fcc** صفحه کلیواژ نداریم).

انواع شکست



مواد با ساختار fcc (شکست نرم)	Fe (استنیت) و Cu, Ag, Au, Al, Ni, Sn, Pd
مواد با ساختار bcc	Fe (فريت) و V, Mo, Cr, W, Na, Li, Ca, Rb, Cs, Ti (B)
مواد با ساختار hcp	Mg, Zn, Ti, Zr, Br, Cd

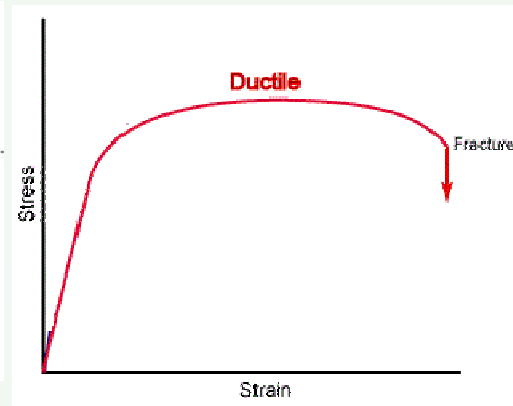
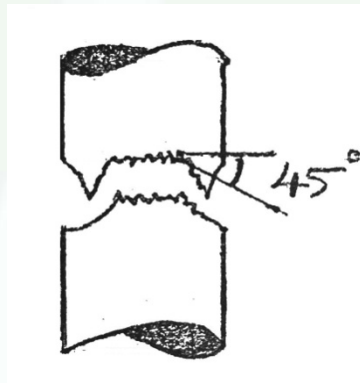
انواع شکست



شکست نرم:

بوسیله ایجاد فنجان و مخروط قابل تشخیص است.

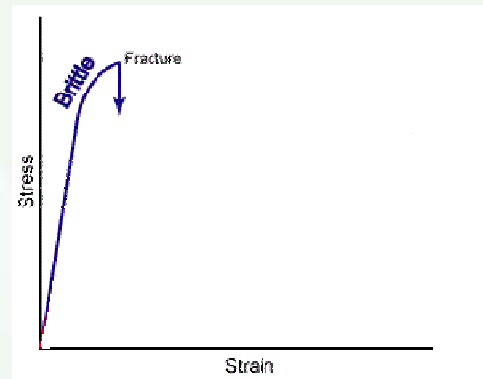
انرژی جذب شده پیش از شکست زیاد است



شکست ترد:

نمای کاملاً کریستالی دارد.

انرژی جذب شده پیش از شکست کم است



انواع شکست



✓ شکست نرم: ظاهر شدن سطح شکست ناشی از برش در بزرگ نمایی کم به صورت خاکستری و رشته ای

✓ شکست ترد: سطح شکست براق روشن و دانه ای ناشی از انعکاس زیاد نور از سطح صاف کلیواژ

سطوح شکست غالباً مخلوطی از شکست رشته ای و دانه ای است و آن را به صورت درصد بیان می کنند. در فلزات با توجه به فلز، دما، حالت تنش و سرعت بارگذاری انواع شکست روی می دهد.

سطح شکست نرم



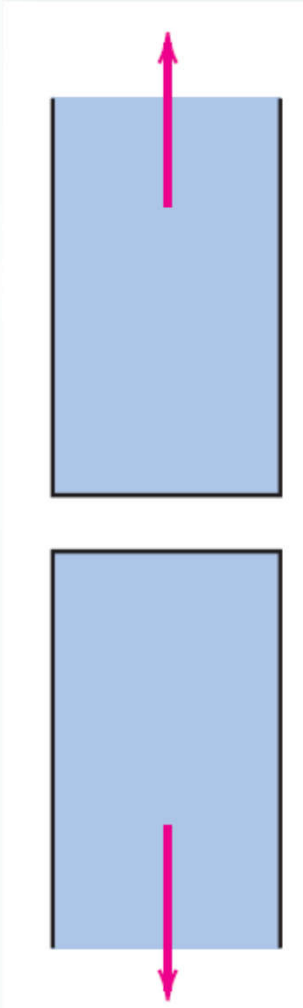
Cup

Cone



سطح مقطع شکست نرم به صورت Cup and Cone است

سطح شکست ترد

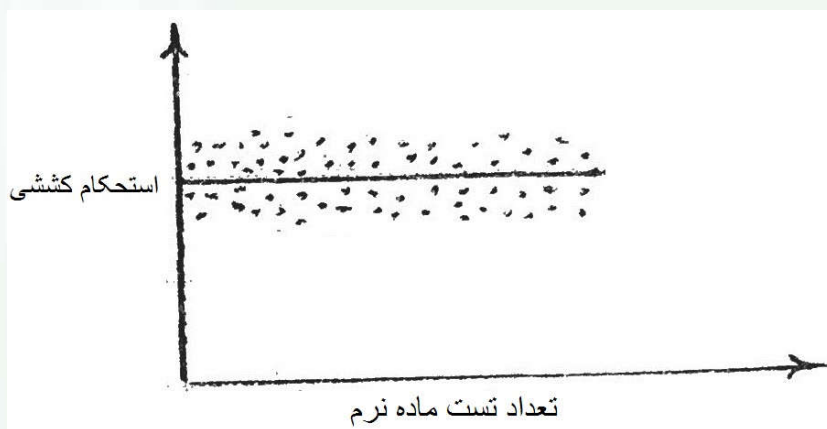


سطح شکست عمود بر جهت اعمال نیرو با نمای کریستالی

انواع شکست



نتایج بدست آمده در اندازه گیری استحکام کششی در نمونه های ترد بسیار پراکنده و گسترده بوده و برای نمونه چکش خوار یکنواخت تر است. این موضوع نشان می دهد که در مواد ترد فاکتورهایی وجود دارند که منجر به اختلاف در نتایج می شوند.



انواع شکست



شکست ترد می تواند درون یا بیرون دانه ای باشد:

✓ درون دانه ای: ترک ها در داخل دانه ها گسترش می یابند که با کاهش دما و افزایش سرعت تغییر شکل افزایش می یابد.

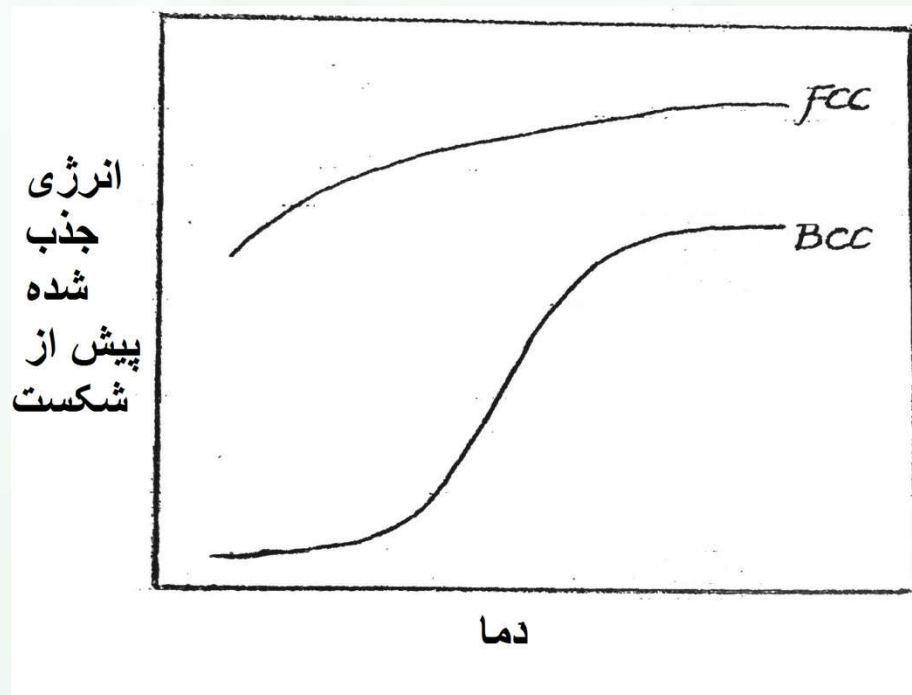
✓ بیرون دانه ای: در بین دانه ها و امتداد مرزها انجام می شود که ناشی از وجود ناخالصی ها یا جدایش و رسوب عناصر یا فازهای ترد در امتداد مرز دانه ها است.

در فلزات، شکست ترد بیشتر درون دانه ای است، چون مرز دانه در حالت معمولی خود مانع است.

انواع شکست



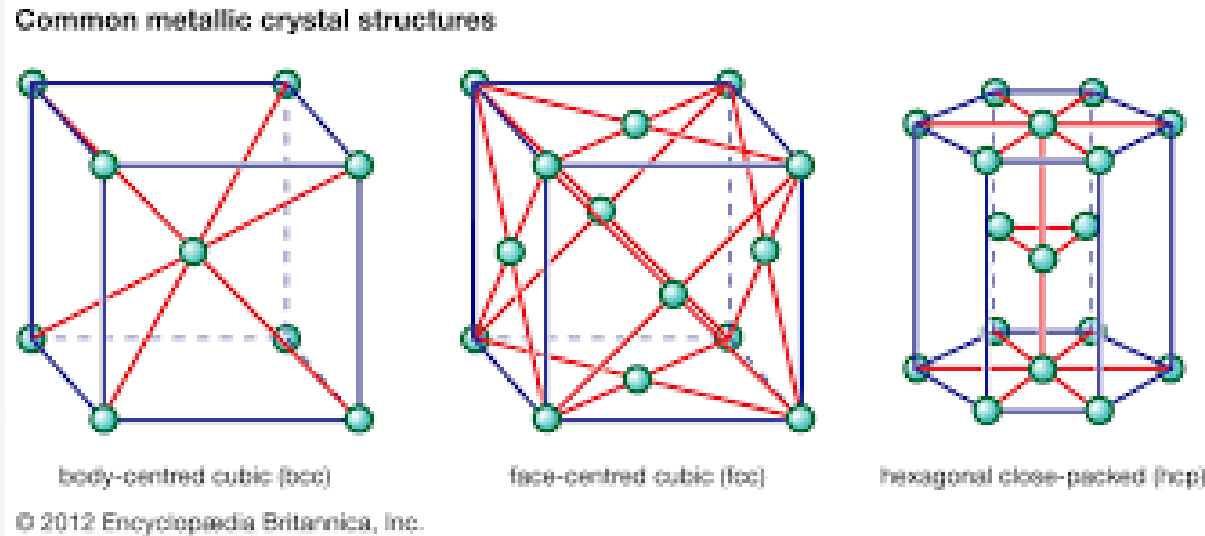
مواد با ساختار **fcc**، رفتار شکست ثابتی دارند، اما مواد با ساختارهای **bcc** و **hcp** دارای دمای تبدیل تردی به نرمی هستند. در این دما، رفتار ماده از نرم به ترد تبدیل می‌شود و دمایی است که ظاهر شکست، ۵۰٪ ترد است. شکست بدنه کشتی‌های فولادی در آب‌های قطبی در قدیم به علت عدم آگاهی از وجود این دما بوده است.



انواع شکست



ساختارهای بلوری مرسوم فلزات (bcc، fcc و hcp)



برای برخی پلیمرها نیز دمای مشابه ای (دمای تبدیل شیشه ای) وجود دارد که پلیمر در پایین تر از این دما، جامد ترد و بالاتر از آن انعطاف پذیر است.

اثرات ترکیبی در واماندگی



ترکیب ۲ یا چند نوع از واماندگی ها همراه با هم دارای اثر بیشتری نسبت به تاثیر مجموع آنها بطور مجزا از هم دارد که اثر سینرژیستیک (synergistic effect) نام دارد.

انواع شرایط ترکیبی:

- ✓ خزش و خستگی
- ✓ سایش و خستگی
- ✓ خوردگی خستگی



انواع شرایط ترکیبی در واماندگی

- ✓ خزش و خستگی: بارهای سیکلی در دمای بالا نظیر توربین های بخار در نیروگاه های برق و توربین های موتور هواپیما
- ✓ سایش و خستگی: سائیدگی ناشی از حرکت های جزئی بین قطعات فیت شده همراه با بار سیکلی سبب آسیب سطحی و سپس ایجاد ترک می شود که خستگی سایشی (fretting fatigue) نام دارد. این پدیده می تواند سبب واماندگی در تنش های بسیار کم شود.
- ✓ خوردگی خستگی: ترکیب توام خوردگی و بار سیکلی مثلاً برای فولادهای تحت بار سیکلی در محیط آب دریا (نظیر اسکله های نفتی در دریا)



اثرات محیطی بر واماندگی

اثرات محیطی نیز در طول زمان می توانند تاثیر منفی بر خواص داشته باشند. مثلا اشعه ماوراء بنفش نور خورشید سبب شکنندگی برخی پلاستیک ها می شود. چوب نیز با گذشت زمان کاهش استحکام دارد، بخصوص اگر در معرض رطوبت هم باشد. فولاد اگر در معرض تابش نوترون باشد، برای مدت طولانی، شکننده می شود (مثلا در راکتورهای هسته ای).

در مجموع می توان گفت اثرات محیطی (نظیر نوع محیط، دما، رطوبت و ...) بخصوص در طول زمان می توانند سبب شوند که ماده بدون آن که تحت تنش های ایجاد کننده پدیده های شکست، خستگی، خزش، تغییر شکل الاستیک و یا پلاستیک بیش از حد قرار گیرد، دچار واماندگی شود.



اثرات ترکیبی در واماندگی

بنابراین در پدیده های منجر به واماندگی باید بحث اثرات محیطی را نیز به ۲ عامل اصلی شکست و تغییر شکل اضافه کرد. در بسیاری موارد نیز اثرات محیطی سبب می شوند که واماندگی ناشی از تغییر شکل بیش از حد یا شکست به ازای تنش های پایین تر یا در زمان زودتر اتفاق افتد. پس اثرات محیطی بطور مستقل (در مواردی) سبب واماندگی شده، اما اکثراً فرآیند واماندگی ناشی از سایر پدیده ها را تشدید می کنند. بنابراین اثرات محیطی در طول زمان، سبب واماندگی شده یا سبب تسریع در واماندگی می شوند.