بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

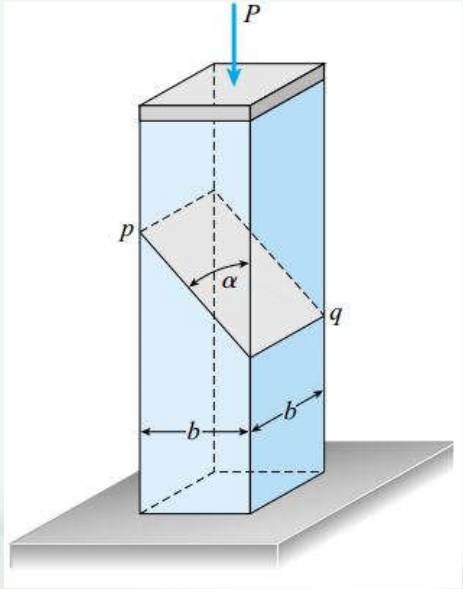
شکست ، خزش و خستگی

جلسه هفتم
(شکست نرم)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

انواع مختلف شکست

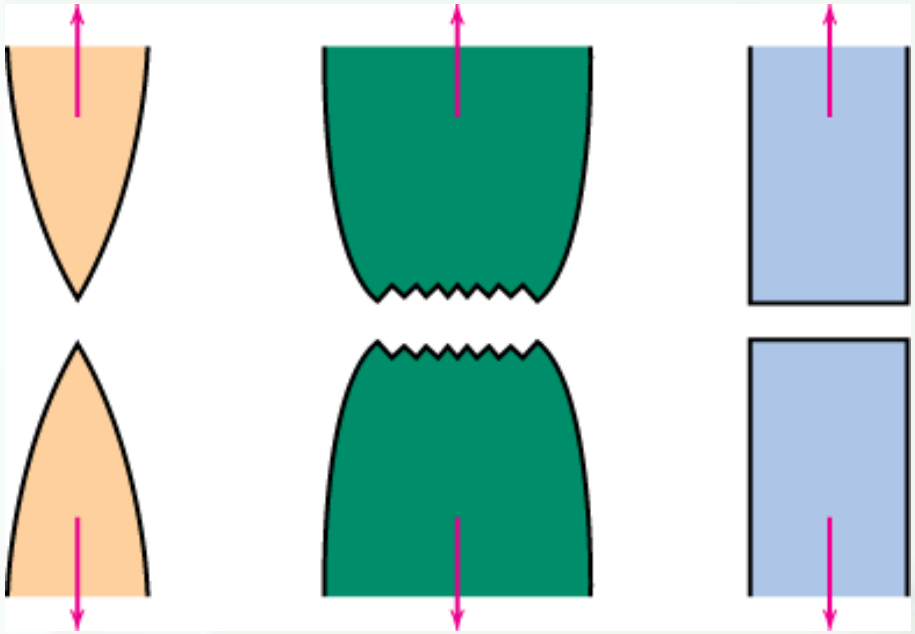
شکست برشی در تک کریستال
چکش خوار



شکست ترد تک کریستال
و پلی کریستال

شکست
چکش خوار در پلی کریستال

شکست کاملاً
چکش خوار در پلی کریستال



Small Moderate Large

شکست نرم در مواد مختلف

تک کریستال های hcp می توانند روی صفحات پایه بطور متوالی لغزش کنند تا در نهایت کریستال بطور برشی جدا شود. پلی کریستال های بسیار چکش خوار (نظیر طلا و سرب) می توانند در حین آزمایش کشش تا یک نقطه پیش از گسیختگی کشیده شوند. در شکست فلزات نسبتاً چکش خوار، تغییرشکل پلاستیک در نهایت سبب ایجاد یک منطقه گردنی شدن می شود. شکست در مرکز نمونه شروع شده و بوسیله جدایش برشی تحت زاویه ٤٥ درجه گسترش می یابد که به شکست مخروطی- فنجان معروف است.

شکست نرم و ترد

شکست ترد

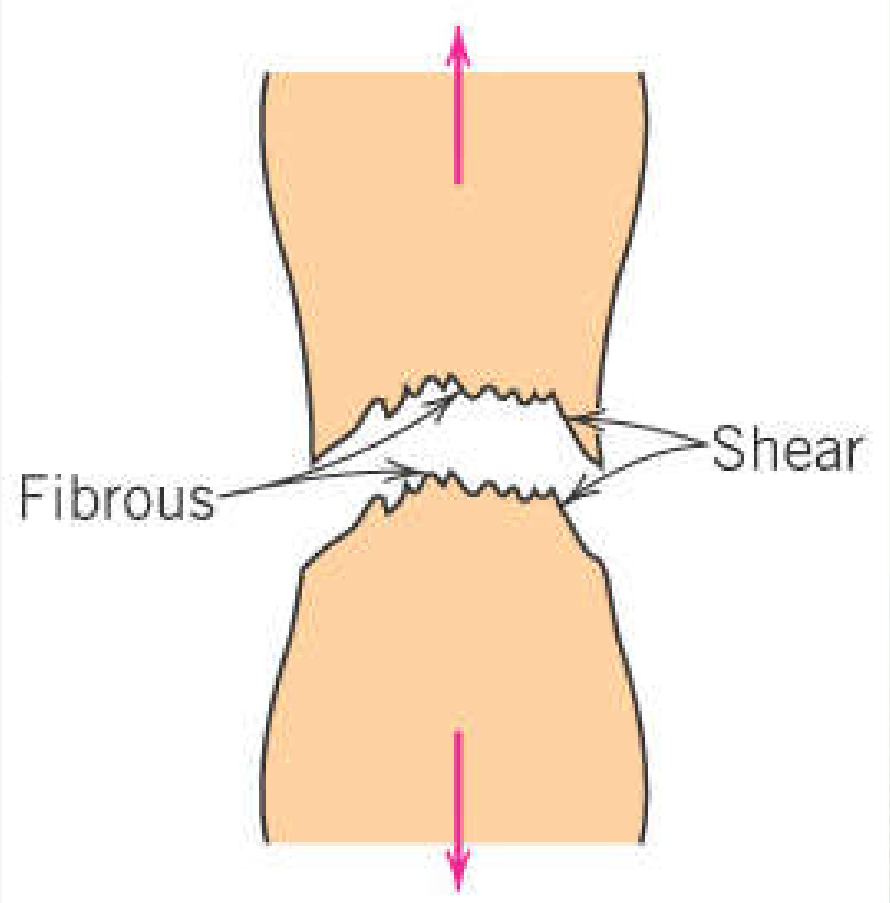
سطح شکست عمود بر جهت اعمال نیرو با نمای دانه ای و کریستالی

شکست نرم

سطح شکست با نمای فنجان و مخروط به صورت رشته ای

(a) (b)

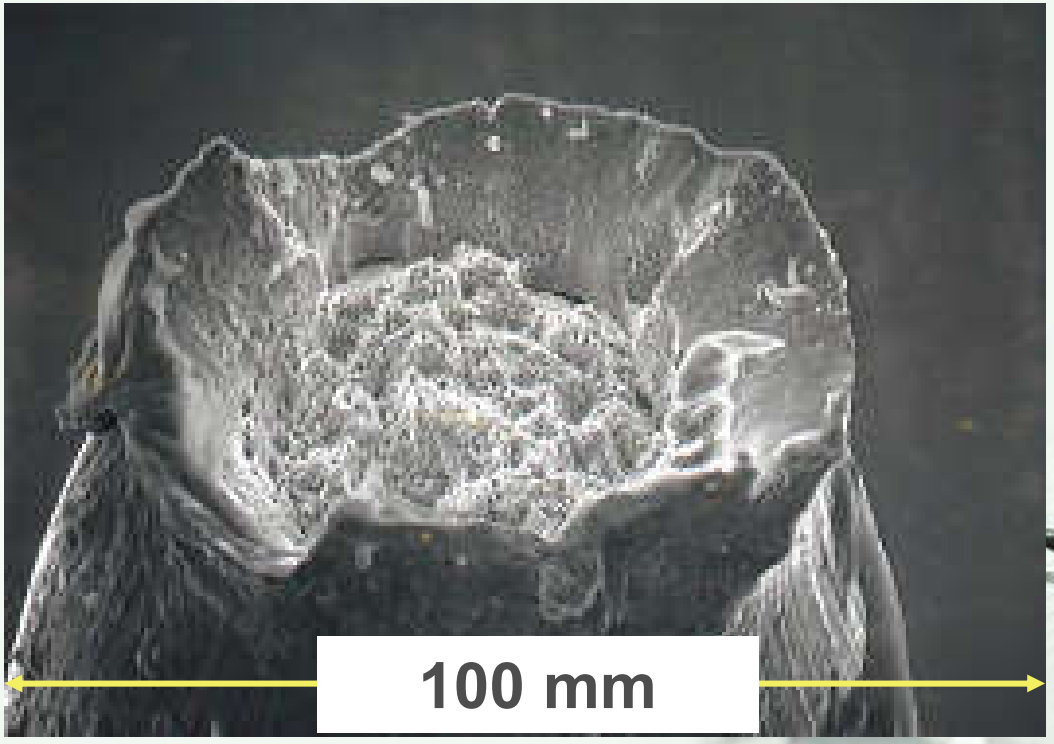
شکست نرم



شکست مخروطی – فنجان

سطح شکست سیم تایر تحت بار کششی

(شکست مخروطی – فنجان)



شکست نرم در ماده چکش خوار

در جسم چکش خوار با شروع تغییرشکل پلاستیک، شعاع نوک ترک های ریز افزایش می یابد و این امر سبب کاهش تنش متمرکز می شود. در اثر آزاد شدن تنش، انتشار ترک می تواند متوقف شود. شکستی که در نهایت در مواد چکش خوار روی می دهد، مقداری از آن بواسطه کار سختی است که بطور فزاینده چکش خواری را کاهش می دهد. با کاهش شعاع نوک ترک (r)، تنش در نوک ترک (σ_c) کاهش می یابد.

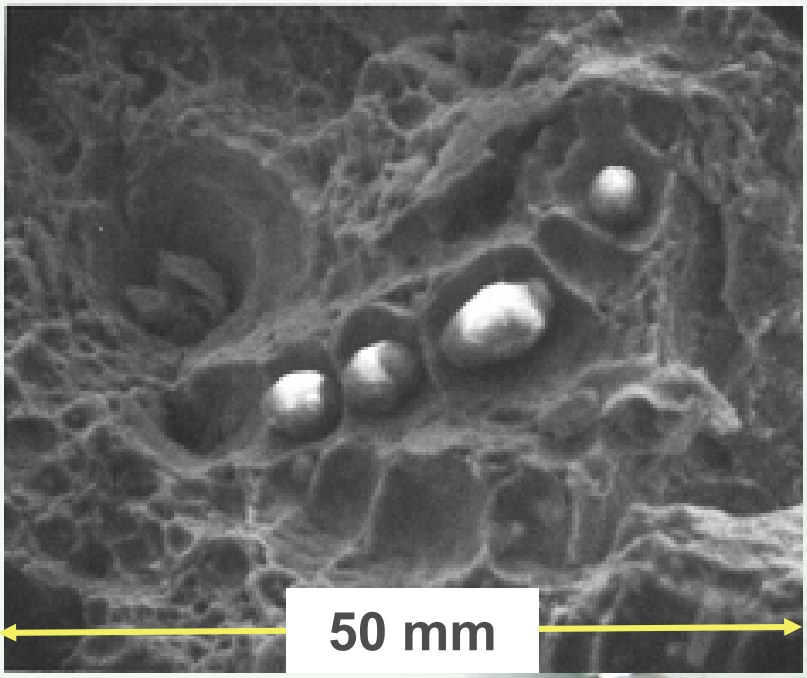
$$\sigma c = 2\sigma\sqrt{a/r}$$

شکست نرم در ماده چکش خوار

هنگامی که سطح شکست چکش خوار در زیر میکروسکوپ الکترونی مشاهده می شود، سطح شکست دارای ظاهری حفره دار است. تشکیل این حفرات ریز به علت وجود ذرات بسیار ریز ناخالصی فازهای دیگر است. این پدیده اثبات می کند که با افزایش درجه خلوص، چکش خواری نیز افزایش می یابد. اکثر فلزات پلی کریستال چکش خوار با شکست نوع مخروطی- فنجان می شکنند. این نوع شکست با تشکیل گردنی شدن همراه است و در این حالت، جوانه زنی و رشد ترک داریم.

سطح شکست نرم

تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست فولاد

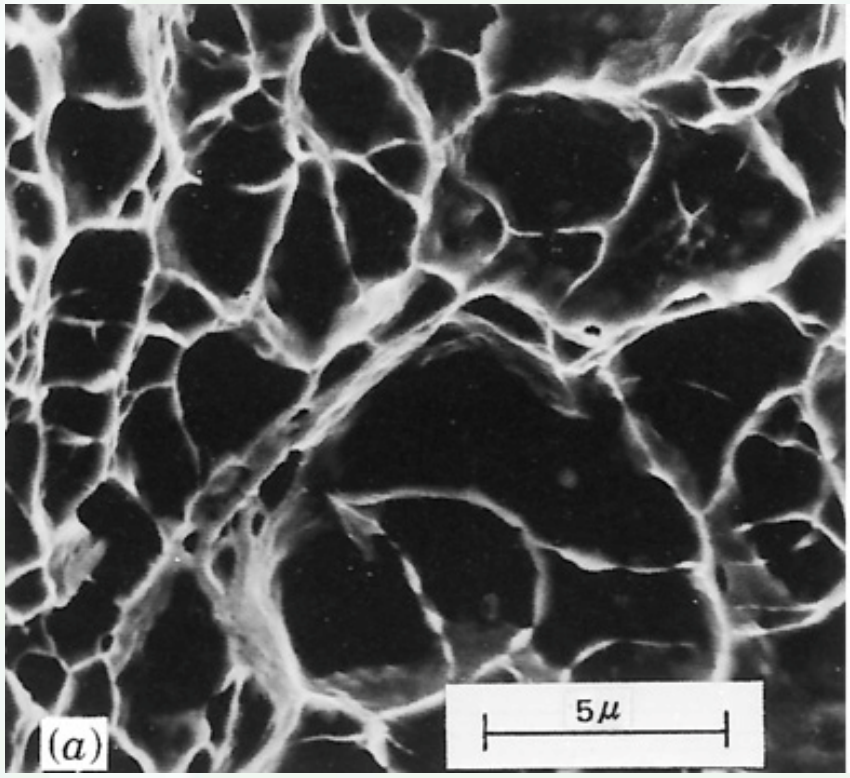


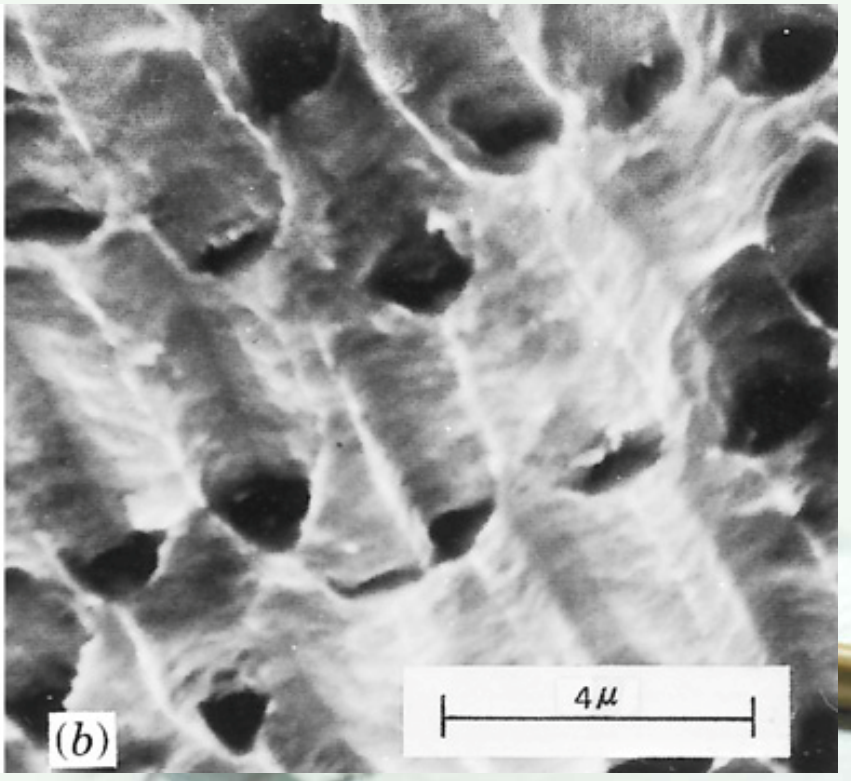
ذرات به عنوان
مکان جوانه زنی حفرات

سطح شکست نرم

تصویر میکروسکوپ الکترونی،

a) گودی کروی ناشی از بار کششی تک محوری، b) گودی سهموی ناشی از بار برشی





گردنی شدن در شکست نرم

گردنی شدن در نقطه ناپایداری پلاستیک بدان علت است که در آنجا افزایش در استحکام بواسطه کارسختی کمتر از افزایش در تنش بواسطه کاهش سطح مقطع است.گردنی شدن، یک حالت تنش سه محوری در آن منطقه ایجاد می کند. در یک نقطه بحرانی، شرایط سه محوری تنش کششی در منطقه گردنی، سبب شکسته شدن و یا جدایش ذرات رسوبی و یا ناخالصی ها از زمینه می شود.

تشکیل حفرات در شکست نرم

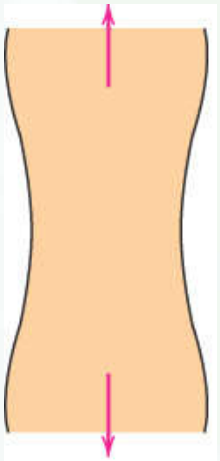
پدیده جدایش ذرات از زمینه سبب می شود که حفرات ریز زیادی ایجاد شوند. با ادامه کرنش اولیه، این حفرات رشد نموده و به هم می پیوندند و تشکیل یک ترک مرکزی می دهند که عمود بر محور نمونه رشد می کند. سپس ترک مذکور در امتداد صفحات برشی تحت زاویه ٤٥ درجه نسبت به محور منتشر می شود تا حالت مخروطی در سطح شکست ایجاد شود.

تشکیل حفرات در شکست نرم

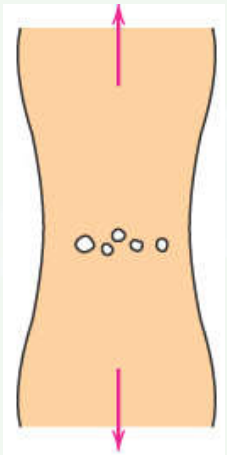
حفرات به عنوان منشا اصلی شکست چکش خوار، بطور غیریکنواخت در مکان هایی که تغییرشکل است، جوانه می زنند. مکان های ترجیحی تشکیل حفره، ناخالصی ها، ذرات فاز دوم یا ذرات ریز اکسیدی هستند. در حالی که در فلزات با خلوص بالا، حفرات می توانند در نقاط ۳ گانه مرزدانه تشکیل شوند.

مراحل و مکانیزم شکست نرم

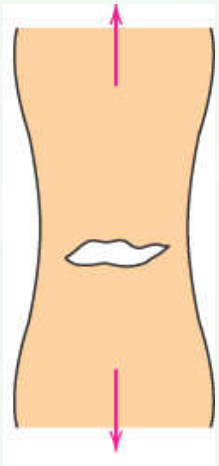
necking



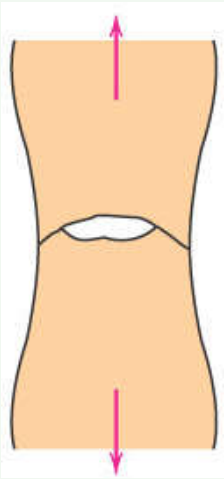
void nucleation



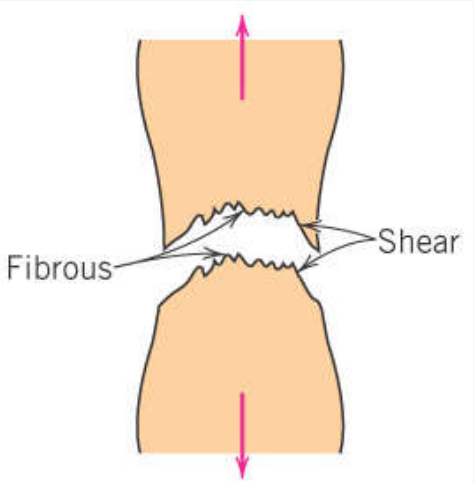
Coalescence of cavities



Crack propagation



fracture



عوامل موثر در تشکیل ترک

چکش خواری فلزات بسیار خالص خیلی بالاتر از فلزات با خلوص کمتر است.

ناخالصی های کوچک در ساختار میکروسکوپی نقش مهمی در جوانه زنی ترک ها دارند. هنگامی که لغزش در یک فلز اتفاق می افتد، نابجایی ها تمایل دارند تا در فصل مشترک ناخالصی- فلز تجمع کنند. با فرض این که ناخالصی محکم باشد و برش نخورد، یک عیب کوچک در فصل مشترک ایجاد می شود.

عوامل موثر در تشکیل ترک

ایجاد عیب به میزان پیوستگی بین سطح ناخالصی و سطح فلز نیز وابسته است.

اگر پیوستگی ناچیز باشد، عیوب به سادگی تشکیل می شوند، اما اگر چسبندگی زیاد باشد، ذرات اثر استحکامی خواهند داشت (نظیر اکسید آلومینیوم در پودر آلومینیوم سینتر شده).

عوامل موثر در تشکیل ترک

موانع دیگری که در برابر حرکت نابجایی ها وجود دارند (نظیر مرزدانه ها) نیز می توانند سبب تشکیل ترک های ریز به روش مشابه شوند.

جوانه زنی ترک می تواند توسط حرکت نابجایی ها در امتداد صفحات لغزش یا صفحات دیگر در داخل کریستال انجام شود. نابجایی ها در محل تقاطع صفحات لغزش انباشت کرده و تشکیل ترک می دهند.

ناخالصی های موجود در مواد

۱- ذرات درشت: با میکروسکوپ نوری قابل رویت هستند و اندازه آنها ۲۰-۱ میکرون است. عموماً ترکیبات پیچیده آلیاژی دارند که برای بهبود قابلیت ریخته گری و برخی خواص افزوده شده اند، اما مقاومت را معمولاً افزایش نمی دهند.

۲- ذرات متوسط: با میکروسکوپ الکترونی قابل رویت هستند (۵۰۰۰-۵۰۰ آنگستروم). این ذرات شامل ترکیبات پیچیده ای از عناصر آلیاژی هستند.

۳- ذرات معلق یا ته نشین: با اندازه ۵۰۰-۵۰ آنگستروم که با میکروسکوپ الکترونی قابل رویت هستند. این ذرات در طی عملیات حرارتی و با مرور زمان ایجاد می شوند.

ناخالصی های موجود در مواد

ذرات درشت غالباً ترد هستند، لذا نمی توانند با تغییرشکل پلاستیک ماده اطراف آن همساز باشند. بنابراین وقتی ماده اصلی (زمینه) دچار تغییرشکل می شود، این ذرات می شکنند و حفراتی ایجاد می کنند و در عمل شکل پذیری و نرمی ماده را کاهش می دهند. این حفرات سبب تمرکز تنش و افزایش کرنش موضعی می شوند و در مجموع تاثیر لحظه ای و موضعی داشته، اما در فرآیند شکست نرم نقش اساسی ندارند.

ناخالصی های موجود در مواد

شکست توسط ذرات متوسط و ریز ایجاد می شود. این ذرات به آسانی ماده زمینه نمی توانند تغییرشکل دهند، لذا چسبندگی آنها با زمینه کم شده و حفرات کوچکی تشکیل می دهند و بوسیله لغزش رشد می کنند. ماده بین حفرات به حالت گلویی درآمده و کاهش سطح مقطع ادامه می یابد.

مکانیزم شکست نرم

در مجموع، شکست نرم (شکست مواد شکل پذیر) براساس کارسختی همراه با جوانه زنی و رشد ترک است. وقتی قطعه ای تحت تاثیر بار کششی قرار می گیرد، پس از عبور از حد الاستیک، شروع به کار سخت شدن می کند. افزایش بار، ازدیاد طول دائمی را افزایش و مساحت سطح مقطع را کاهش می دهد. برخی از قسمت های نمونه بیشتر از دیگر قسمت ها ازدیاد طول می یابد، یعنی این قسمت بیشتر از بقیه قسمت ها تغییر شکل داده و بیشتر کارسخت شده است .

مکانیزم شکست نرم

اگر نرخ کارسختی بیشتر از سرعت کاهش سطح مقطع باشد، قابلیت تحمل نمونه بیشتر شده و این قسمت ضعیف به قوی تبدیل می شود. این فرآیند در قسمت ضعیف بعدی نیز شروع شده و همینطور تا پایان ادامه می یابد، لذا تغییرشکل یکنواخت است . اما اگر نرخ کارسختی کمتر از سرعت کاهش سطح مقطع باشد، قسمت ضعیف در اثر تغییرشکل ضعیف تر شده و ازدیاد طول بیش از حد، ادامه می یابد تا گلویی ایجاد شود. در ناحیه گلویی، چگالی نابجایی زیادی وجود دارد که انباشتگی آنها سبب ایجاد ترک می شود.

مکانیزم شکست نرم

مرزدانه ها با زاویه کم نیز سبب ایجاد ترک می شوند. این ترک ها در امتداد صفحه لغزش پیشرفت می کنند. همچنین می توانند بهم متصل شده و ترک بزرگی ایجاد کنند و ترک های دیگر از بین می روند. این رشد ترک در نهایت منجر به شکست می شود.