

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

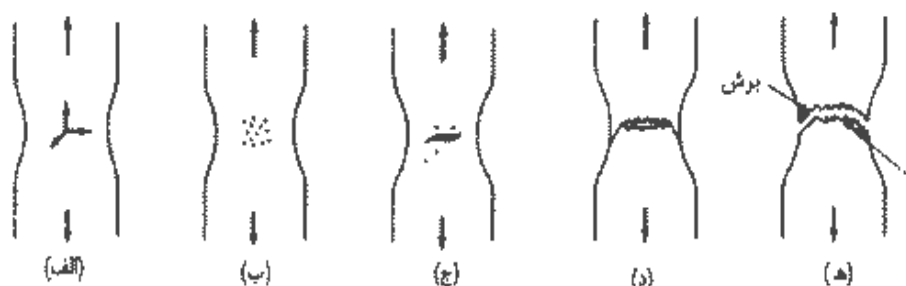
www.Iran-mavad.com



شکست

شکست نرم:

بسیاری از فلزات و آلیاژهای آنها، به ویژه آنهایی که دارای شبکه fcc هستند، مانند آلومینیوم و آلیاژهای آن، در تمام درجه حرارتها، شکست نرم خواهند داشت. شکست نرم به آرامی و پس از تغییر شکل پلاستیکی زیاد به ازای تنش بالاتر از استحکام کششی ظاهر میشود. از مشخصات شکست نرم، تحت تاثیر تنش کششی، ظاهر گشتن گلویی یا نازکی موضعی و ایجاد حفره های بسیار ریز در درون قسمت گلویی و اتصال آنها به یکدیگر تا رسیدن به حد یک ترک ریز و رشد آرام ترک تا حد پارگی یا شکست نهایی است.



مراحل مختلف شکست نرم در یک فلز انعطاف پذیر

در این نوع شکست علت ایجاد حفره های ریز در محدوده گلویی میتواند تغییر شکل غیر یکنواخت ناشی از ناخالصیهای موجود در ماده اصلی زمینه باشد. لذا با ایجاد حفره های بسیار ریز در محدوده گلویی حالت تنش سه محوری برقرار میشود که منجر به ایجاد ترک میشود.

در طراحی و ساخت اجزای ماشین آلات و در ساختمان سازی، تنشهای وارد بر سازه های فلزی در محدوده الاستیکی انتخاب میشود. بنابراین در کاربرد صنعتی، شکست در حالت تنش استاتیکی در مواد انعطاف پذیر (داکتیل) یک پیشامد نامطلوب است.



ترک داخلی در ناحیه نازک شده در نمونه کششی مس با خلوص بالا

شکست ترد:

شکست ترد معمولاً در فلزاتی با ساختار کریستالی مکعب مرکزدار (bcc) و هگزاگونال متراکم (hcp) و آلیاژهای آنها در درجه حرارتهای پایین (معمولاً پایینتر از دمای معمولی محیط) و سرعتهای تغییر شکل بالا بطور ناگهانی ظاهر میشود. شکست ترد در امتداد صفحه کریستالی معینی، به نام صفحه کلیواژ، انجام میگردد. در شکست ترد عموماً تغییر شکل پلاستیکی قابل توجهی در منطقه شکست مشاهده نمیشود. نظریه شکست ابتدا علت شکست را این چنین بیان کرد که تمام پیوندهای اتمی در امتداد صفحه شکست هم زمان با هم گسیخته میشوند. بدین ترتیب که با ازدیاد تنش فاصله اتمها از یکدیگر دور میشوند و در نهایت به محض اینکه تنش به حد تنش شکست (تنش بحرانی) رسید، در نتیجه گسستن تمامی پیوندهای اتمی در صفحه

عمود بر امتداد کشش، شکست پدیدار می‌شود. در جدول زیر تنشهای بحرانی عمود بر صفحات کریستالی معین در چند تک کریستال برای شکست داده شده است.

شکست ترد و تعدادی از تک کریستالها

نام فلز	صفحه شکست	درجه حرارت °C	تنش بحرانی عمود بر صفحه شکست به N/mm^2
آهن - α	(100)	-100	۲۶
	(100)	-185	۲۷/۵
روی (Zn)	(001)	-185	۰/۱۹
hcp	(1010)	-185	۱/۸۰
$Zn + ۱۰/۵۲Cd$	(001)	-185	۱/۲۰

عملاً تنش لازم برای شکست مواد لازم فلزی به اندازه قابل توجهی کمتر از تنش شکست محاسبه شده از طریق تئوری است. بنابراین فعل و انفعال شکست نمیتواند از طریق گسستن همزمان تمامی پیوندهای اتمی در امتداد سطح شکست صورت گیرد. بدین ترتیب فعل و انفعالات شکست عملاً بیشتر از طریق ایجاد یک ترک بسیار ریز به عنوان منشا ترک و رشد و پیشروی آن انجام میگیرد. برای پیشروی ترک در یک ماده لازم است مقدار تنش متمرکز در نوک ترک از استحکام کششی در آن موضع فراتر رود. در مواردی که شرایط برای پیشروی منشا ترک مساعد نیست ترک می تواند متوقف گشته و شکست پدیدار نشود.

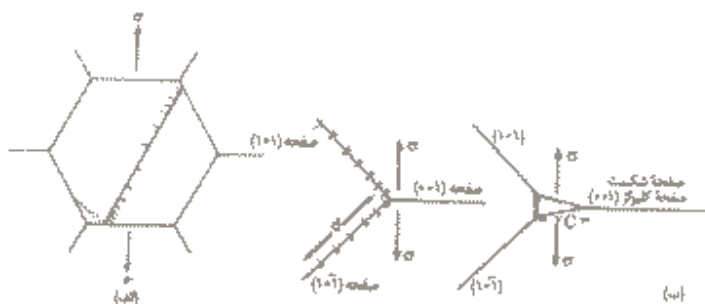
تئوری گریفیت:

او چنین بیان می کند که در ماده ای که حاوی تعدادی ترک بسیار ریز با طول معینی است، همین که مقدار تنش متمرکز در نوک ترک، حداقل به مقدار تنش لازم برای گسستن پیوندهای اتمی در آن موضع (استحکام کششی) رسید، شکست ظاهر میشود. با پیشرفت ترک، سطح ترک افزایش می یابد. این مطلب بدین معنی است که برای

ایجاد این سطح باید انرژی به کار برده شود. این مقدار انرژی از انرژی تغییر شکل کسب می شود.

بنابراین فرضیه گریفیت علت پدیدار گشتن شکست ترد را وجود ترکها و خراشهای سطحی بسیار ریز (با اندازه بحرانی) و پائین بودن استحکام را در آن مواضع می داند. اما مواد هم وجود دارد که بدون داشتن ترکهای سطحی بسیار ریز شکست ترد در آنها پدیدار می شود. بنابراین در این گونه مواد هم باید فعل و انفعالاتی صورت گیرد که موجب به وجود آمدن تمرکز تنش و فراتر رفتن موضعی مقدار تنش از استحکام کششی و در نتیجه ایجاد منشا ترک شود. زبر و اشتر و مکانیزم این فعل و انفعال را چنین بیان داشتند که در حین تغییر شکل پلاستیکی نابجاییها در پشت موانع (مانند مرزدانه ها و مرز مشترک د و قلوئیه ها) تجمع یافته و بدین ترتیب در زیر نیم صفحه های مربوط به این نابجاییها ترکهای بسیار ریزی ایجاد می شود.

این ترکهای بسیار ریز همچنین می تواند محل های مناسبی برای نفوذ عناصری مانند اکسیژن، ازت و کربن در آنها و ایجاد فازهای ثانوی ترد و در نتیجه شکست ترد باشند. چنین رفتار ترد در شکست ترد مس با وجود عناصری مانند آنتیموان و آهن همراه با اکسیژن مشاهده شده است.



مکانیزم ایجاد ترک از طریق نابجاییها.

الف) تجمع نابجائیه‌ها در پشت مرز دانه‌ها (Zener)
 ب) تلاقی نابجائیه‌ها (Cottrell)

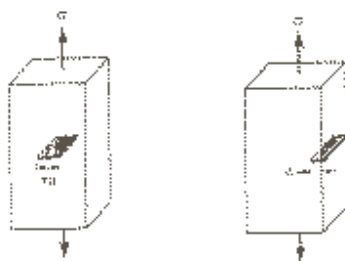
کاترل مکانیزم دومی را برای ایجاد منشا ترک ارائه کرد. بدین صورت که منشا ترکهای ریز می‌تواند در اثر تلاقی دو صفحه لغزش بایکدیگر، در نتیجه در هم آمیختن نابجاییها در محل تلاقی آن دو صفحه و ایجاد نابجاییهای جدید، ناشی شود، این مکانیزم می‌تواند دلیلی برای ایجاد سطح شکست (صفحه کلیواژ) مشاهده شده در صفحه (۰۰۱) در فلزات با ساختار کریستالی مکعب مرکزدار (bcc) باشد. در فلزات چندین کریستالی شکست ترد میتواند به صورت برون دانه ای (بین دانه ای) و یا درون دانه ای باشد.

شکست برون دانه ای در بین دانه‌ها در امتداد مرز دانه‌ها ظاهر می‌شود. دلیل این نوع شکست بیشتر میتواند وجود ناخالصیها یا جدایش و رسوب عناصر یا فازهای ترد و شکننده در امتداد مرز دانه‌ها باشد. شکست ترد در فلزات بیشتر به صورت درون دانه ای است. بدین ترتیب که ترک در داخل دانه‌ها گسترش می‌یابد. درجه حرارت و سرعت تغییر شکل تاثیر مخالفی بر روی نوع شکست خواهد داشت، به طوری که با کاهش درجه حرارت و ازدیاد سرعت تغییر شکل، تمایل برای شکست ترد به صورت درون دانه ای در حین خزش در نتیجه تغییرات شیمیائی در اثر اکسیداسیون ممکن خواهد بود. چنانچه اکسیداسیون برون دانه ای در فلزات صورت گیرد، تنش شکست بسیار کاهش می‌یابد.

تافنس شکست:

چنانچه در جسمی ترک وجود داشته باشد، در این صورت استحکام آن جسم استحکامی نیست که از طریق آزمایش کشش به دست می آید، بلکه آن کمتر است. در این صورت مسئله ترک و اشاعه آن اهمیت پیدا می کند. در اینجا تافنس شکست به رفتار مکانیکی اجسام، شامل ترک یاد یگر عیوب بسیار ریز سطحی یا داخلی مربوط میشود. البته نمیتوان اذعان کرد که عموماً تمام اجسام عاری از عیب نبوده و شامل عیوبی هستند. در این صورت آن چه که در طراحی و انتخاب مواد برای ما اهمیت صنعتی ویژه ای دارد، مشخص کردن حد اکثر تنش قابل تحمل برای جسمی است که شامل عیبی با شکل و اندازه معینی است. بنابراین به کمک تافنس شکست میتوان توانایی جسمی که بطور کامل سالم نیست را در مقابل یک بار خارجی وارد بر جسم سنجید.

معمولاً برای تعیین تافنس شکست از آزمایش کشش بر روی نمونه آماده شده ای از جنس معین که ترکی بطول و شکل معینی بر طبق استاندارد در سطح یا داخل نمونه بطور عمد ایجاد شده استفاده می شود، شکل نمونه به گونه ای در دستگاه آزمایش کشش قرار می گیرد که ترک ریز به صورت عمود بر امتداد تنش کششی قرار گیرد.



نمونه های تافنس شکست با عیوب لبه ای و داخلی

اکنون این سؤال مطرح می شود که به ازای چه مقداری از تنش S جوانه ترک مصنوعی در داخل جسم گسترش می یابد تا حدی که منجر به شکست نمونه شود. در اطراف این ترک تنش به صورت پیچیده ای توزیع می شود. حداکثر تنش کششی ایجاد شده در راس ترک بزرگتر از خارجی S است و تنش بحرانی (SC) نامیده میشود. تا زمانی که SC کوچکتر از استحکام کششی است نمونه نمی شکند. با وارد آمدن تنش به نمونه در محدوده الاستیکی ابتدا انرژی پتانسیل در نمونه ذخیره می شود. موقعی که ترک شروع به رشد می کند بین مقدار کاهش انرژی پتانسیل ذخیره شده در نمونه و انرژی سطحی ناشی از رشد ترک تعادل برقرار است. تا زمانی که ترک ادامه پیدا می کند که از انرژی الاستیکی کاسته و به انرژی سطحی افزوده شود، یعنی تالحتظه ای که شکست ظاهر گردد. ابتدا گریفیث با توجه به روابط مربوط به انرژی پتانسیل ذخیره شده و انرژی سطحی ترک در ماده الاستیکی، مانند شیشه و تغییر و تبدیل آنها به یکدیگر رابطه زیر را ارائه کرد:

$$s = \sqrt{2E_g s} / p_a$$

این رابطه برای حالت تنش D و بعدی برقرار است. gs در این رابطه انرژی سطحی ویژه و E مدول الاستیکی ماده است. برای حالت تغییر شکل D و بعدی (حالت تنش سه بعدی با صرف نظر از تغییر شکل در بعد سوم) رابطه زیر را ارائه کرد:

$$(s = \sqrt{2E_g s} / p_a(1 - \nu^2)$$

لازم به تذکر است که رابطه گریفیث برای یک ماده الاستیکی شامل ترک بسیار ریز باراس ترک تیز ارائه شد و این رابطه ترک باشعاع راس ترک $r \neq 0$ را شامل نمی شود. بنابراین رابطه گریفیث شرط لازم برای تخریب است، اما شرط کافی نیست.

در رابطه گریفیث انرژی تغییر شکل پلاستیکی در نظر گرفته نشده است. از این رو اروان انرژی تغییر شکل پلاستیکی، که برای فلزات و پلیمرها در فرآیند شکست قابل توجه است را در نظر گرفت و رابطه زیر را ارائه کرد:

$$s = \sqrt{2E(g_s + g_p)} / p_a$$

سپس اروین رابطه گریفیث را برای موادی که قابلیت تغییر شکل پلاستیکی دارند، به کار برد و با توجه به میزان رها شدن انرژی تغییر شکل الاستیکی در واحد طول ترک در حین رشد (G) رابطه زیر را برای حالت تنش دو بعدی ارائه داد:

$$s = \sqrt{EG} / p_a$$

بامقایسه با رابطه قبل ($s = \sqrt{2E(g_s + g_p)}$) است. بدین ترتیب در لحظه ناپایداری، وقتی میزان رها شدن انرژی تغییر شکل الاستیکی به یک مقدار بحرانی رسید، شکست پدیدار می شود. در این صورت در لحظه شکست:

$$\begin{aligned} G_c &= \text{برای حالت تنش دو بعدی} \\ p_a s^2 / E \\ &= G_c = p_a (1 - \nu^2) s^2 / E \quad \text{برای حالت کرنش دو بعدی} \\ K c^2 / E \end{aligned}$$

G_c مقیاسی برای تافنس شکست یک ماده بوده و مقدار آن برای هر ماده ای ثابت و معین است. با معلوم بودن این کمیت می توان مشخص کرد که مقدار a به چه اندازه ای باید برسد تا جسم بشکند. بدین ترتیب این رابطه در مکانیزم شکست اهمیت دارد. هرچقدر G_c کوچکتر باشد، تافنس کمتر یا به عبارتی ماده تردتر است. رابطه زیر را برای حالت تنش دو بعدی می توان به صورت زیر نوشت:

$$G_c = \sqrt{E G_c} / p_a$$

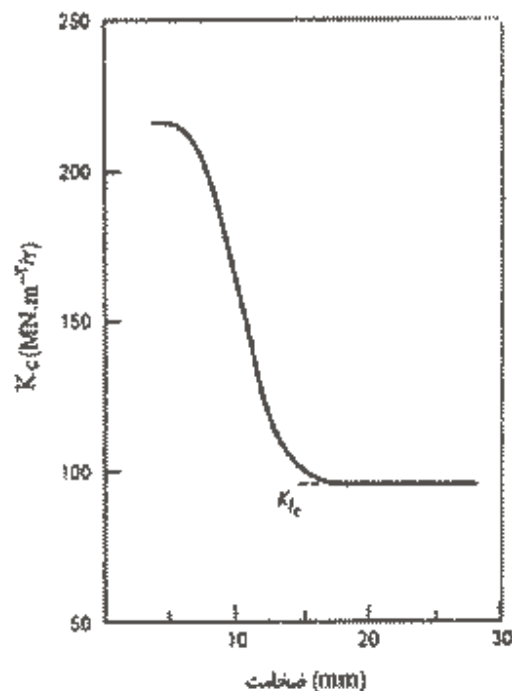
و برای شرایط تغییر شکل نسبی d و بعدی رابطه زیر ارائه شده است :

$$s = \sqrt{E G_c} / p_a (1_n^2$$

تعیین تنش شکست بحرانی SC کار چندان ساده ای نیست . اما می توان گفت که به ازای تنشهای جسم باوجود ترک هنوز نمی شکند . از این رو تنش درحد پاینتر از مقدار بحرانی با ضریب شدت تنش K توصیف و رابطه زیر برای آن ارائه شده است :

$$K = f s \sqrt{p_a}$$

در این رابطه f ضریب هند سه نمونه معیوب ، S تنش اعمالی و a اندازه عیب است ، در شکل تئوری گریفیث اگر عرض نمونه نامحدود فرض شود ، دراین صورت $f = 1$ است . با انجام آزمایش روی نمونه ای با اندازه معینی از عیب می توان مقدار k ، که به ازای آن ترک شروع به رشد کرده و موجب شکست میشود ، را تعیین کرد . این ضریب شدت تنش بحرانی به عنوان تافنس شکست نامیده میشود و به K_C نشان داده میشود . اما ازطرفی ، همچنین به ازای تنش ثابتی درحد کوچکتر از استحکام کششی باافزایش کند ترک ، طول ترک (a) میتواند به مقدار بحرانی برسد و به ازای آن نمونه تخریب شود.



تافنس شکست (K_c) از فولادی با تنش تسلیم 2070 MN.m^2 با افزایش ضخامت تا تافنس شکست در حالت تغییر شکل صفحه ای (دو بعدی) کاهش می یابد.

کمیت‌های K_c و G_C بستگی به ضخامت نمونه دارد. همین که ضخامت نمونه افزایش یافت، تافنس شکست K_c تا مقدار ثابتی کاهش می یابد، این مقدار ثابت K_c تافنس شکست تغییر شکل نسبی دو بعدی K_{Ic} نامیده می شود. K_c کمیتی مستقل از اندازه نمونه است و در محاسبه استحکام که مستلزم اطمینان بالاست، به کار میرود. بنابراین در طراحی در محاسبات باید روابط زیر توجه شود:

$$K_c / \sqrt{pa} > s$$

و در حالت تغییر شکل دو بعدی (حالت تنش سه بعدی باناچیز بودن تغییر شکل در بعد سوم):

$$K_{Ic} / \sqrt{\text{pa}} > s$$

کمیت‌های K_{Ic} و G_{Ic} نه فقط برای گسترش ترک ترد و نرم تعریف شده است ، بلکه همچنین برای شکست تحت شرایط تنش خوردگی ، خستگی و خزش نیز به کار می‌رود. در جداول زیر تافنس شکست تعدادی از مواد ارائه شده است .

تافنس شکست تعدادی از مواد طراحی

تافنس شکست تعدادی از مواد طراحی

$K_{Ic} / \sqrt{\text{MPa}\sqrt{\text{m}}}$ ($\sqrt{\text{ksi}\sqrt{\text{in}}}$)	G_{Ic} (kJ/m^2)	نام ماده
۳۳-۴۲	۱۶-۲۱	آلیاژی آلومینیوم شکست نرم
۱۵-۳۰	۹-۱۰	آلیاژی آلومینیوم شکست نرم
۳۰-۳۵	۱۰-۱۵	پولادهای ساختمانی، فولادها شکست نرم
۱۵-۲۰	۱۳-۱۶	تفلون یا استیکام بالا شکست نرم
۱۰-۱۵	۶-۱۰	پولادهای ساختمانی، فولادها و میکروآلیاژی شکست ترد
۱/۶	۵-۶	پلیمر پلی کربنات شکست نرم
۲/۴	۵	پلیمر پلی کربنات شکست ترد
۱/۶	۲/۳	سایر پلیمرها
۲/۹	۱/۵	سایر پلیمرها با الاستومر به صورت ورقه شده
۱/۵-۱/۳	۱/۵-۱/۳	آبست
۱/۵	۰/۵	گرمیت

تافنس شکست در حالت تغییر طول نسبی دوماحوری (K_{Ic}) تعدادی از مواد

جدول (۵-۱۰): تافنس شکست در حالت تغییر طول نسبی دو محوری (K_{Ic}) تعدادی از مواد

نام ماده	تافنس شکست K_{Ic} ($MN.m^{-3/2}$)	حد تسلیم (MPa)
آلیاژها Al-Cu	۲۴-۳۶	۲۲۵-۴۵۵
Ti-۷/۶ Al-۷/۲ V	۵۵-۹۹	۸۶۰-۹۰۰
فولاد Ni-Cr	۵۰-۸۸	۱۴۲۰-۱۶۲۰
Al_2O_3	۱/۷۶-۴/۵	۲۳-۲۱۰
Si_3N_4	۵	۸۸-۵۱۰
ZrO_2 مستحکم شده از طریق استحال	۱۱	۶۵-۲۵۰
کامپوزیت Si_3N_4 -SiC	۵۶	۱۳۰-۸۲۵

اگر حد اکثر اندازه عیب موجود در قطعه a و مقدار تنش وارد بر آن S باشد، میتوان ماده ای را با تافنس شکست K_{Ic} یا K_{Ic} به اندازه کافی بالا، که بتواند از رشد ترک جلوگیری کند، انتخاب کرد. همچنین اگر حداکثر اندازه مجاز عیب موجود در قطعه و تافنس شکست ماده، یعنی K_{Ic} یا K_{Ic} ، معلوم باشد در آن صورت میتوان حداکثر تنش قابل تحمل برای قطعه را مشخص کرد. از این رو میتوان اندازه تقریبی قطعه را تعیین کرد، آن چنان که از پایینتر آمدن حداکثر تنش ایجاد شده از حد مجاز، اطمینان حاصل شود. همچنین اگر ماده معینی انتخاب و اندازه قطعه و تنش وارد بر آن مشخص شده باشد، حد اکثر اندازه مجاز عیب قابل تحمل را میتوان به طور تقریب بدست آورد. توانایی هر ماده در مقابل رشد ترک به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- عیوب بزرگ ، تنش مجاز را کاهش میدهد. فنون خاص تولید، مانند جداسازی و کاهش ناخالصیها از فلز مذاب و فشردن ذرات پودر در حالت داغ در تولید اجزای سرامیکی همگی میتواند موجب کاهش اندازه عیب شود و تافنس شکست را بهبود ببخشد.

۲- در فلزات انعطاف پذیر ، ماده مجاور راس ترک میتواند تغییر فرم یابد . به طوری که سبب باز شدن راحت راس ترک و کاسته شدن از حساسیت آن شده و ضریب شدت تنش را کاهش داده و از رشد ترک جلوگیری میکند معمولا افزایش استحکام فلز انعطاف پذیری را کاهش میدهد و سبب کاهش تافنس شکست میشود ، مانند سرامیکها و تعداد زیادی از پلیمرها ، تافنس شکست بسیار پایینتر از فلزات دارند.

۳- مواد ضخیمتر و صلبتر دارای تافنس شکست کمتر از مواد نازک هستند.

۴- افزایش سرعت وارد کردن بار، مانند سرعت وارد شدن بار در آزمایش ضربه ، نوعا تافنس شکست جسم را کاهش میدهد.

۵- افزایش درجه حرارت معمولا تافنس شکست را افزایش میدهد، همان گونه که در آزمایش ضربه این چنین است .

۶- با کوچک شدن اندازه دانه ها معمولا تافنس شکست بهبود مییابد ، در حالی که با وجود عیوب نقطه ای و نابجاییهای بیشتر تافنس شکست کاهش مییابد. بنابراین مواد سرامیکی دانه ریز میتواند مقاومت به رشد ترک را بهبود بخشند.