دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

شکست، خزش و خستگی

جلسه چهارم
(تئوری ترک گریفیث و چقرمگی شکست)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

تئوری ترک گریفیث

هنگام شکست، تنش اعمالی، پیوندهای اتمی را می شکند، لذا از جهت تئوری تنش اعمالی باید بر نیروهای بین اتمی غلبه کند. بنابراین از نظر تئوری تنش زیادی برای شکست نیاز است، اما مشاهده می شود که در عمل تنش بسیار کمتری برای شکست مواد لازم است.

از نظر تئوری تنش لازم برای شکست ماده (استحکام تئوری ماده)، بسیار بالاست (حدود E/10). اما درعمل تنش واقعی لازم بسیار کمتر از حد تئوری بوده و بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر کمتر است.

تئوری ترک گریفیث

علت آن وجود نواقص، عیوب ساختاری و بلوری و ترک ها در ماده است.

تنها تک بلورهای بدون عیب دارای استحکامی نزدیک به استحکام تئوری می باشند. این ترک ها در ماده از قبل وجود دارند یا حین اعمال تنش ایجاد می شوند. ترک ها باعث افزایش تنش در ناحیه اطراف ترک می شوند. به عبارت دیگر ترک ها به عنوان تنش افزا (Stress Raisers) عمل می کنند.

تئوری ترک گریفیث

برای توجیه تفاوت بین استحکام تئوری و استحکام واقعی در مواد، گریفیث (Grifith) در سال ۱۹۲۱ نظریه ای ارائه داد. براساس نظریه گریفیث، در ماده ای که حاوی تعداد زیادی ترک بسیار ریز با طول مشخص باشد، همین که تمرکز تنش در نوک ترک حداقل به مقدار تنش لازم جهت گسستن پیوندهای اتمی در آن موضع رسید (استحکام)، شکست ظاهر می شود. براین اساس تنش واقعی (تنش متمرکز)، با تنش اعمالی، طول ترک و شعاع انحنای ترک مرتبط است.

تئوری ترک گریفیث

مقدار و توزیع تنش در نوک ترک به عوامل زیادی مانند شکل و طول ترک و ... بستگی دارد. به عنوان مثال برای یک ترک به شکل بیضی در داخل ورق که در جهت عمود بر تنش اعمالی قرار گرفته باشد، تنش ماکزیمم در نوک ترک از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_m = 2\sigma_0\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2}$$

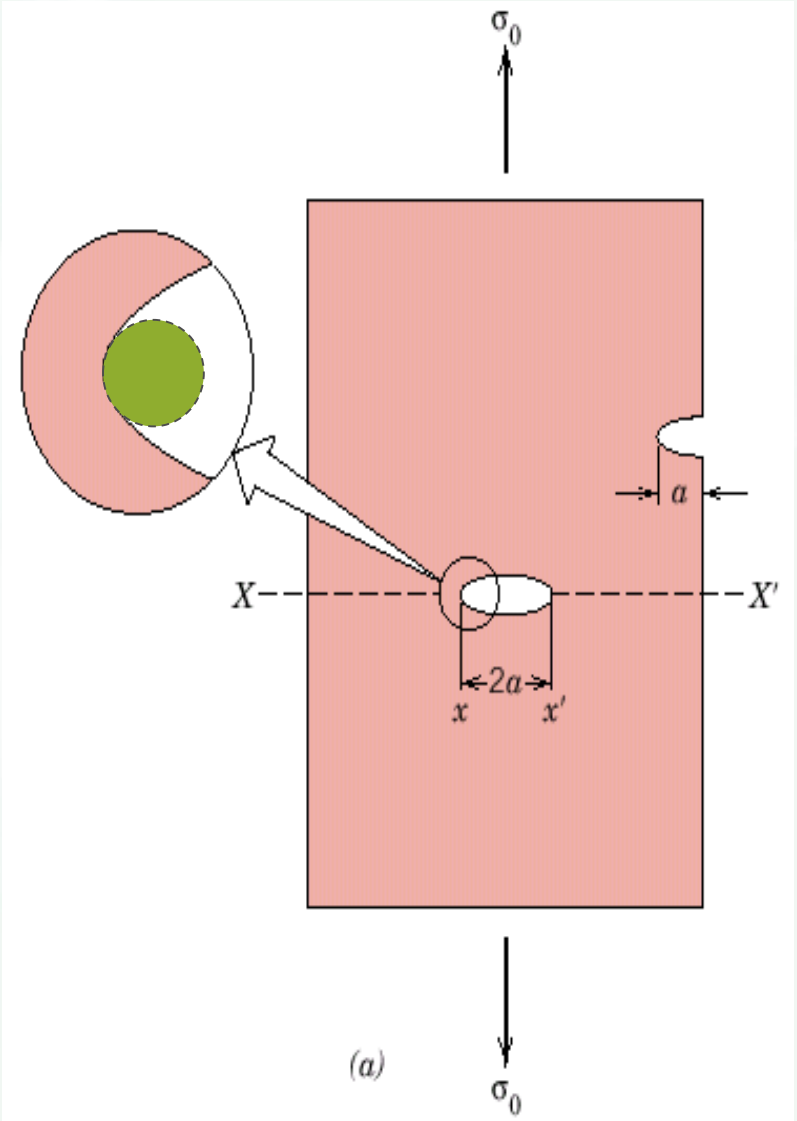
تنش ماکزیمم در توک ترک

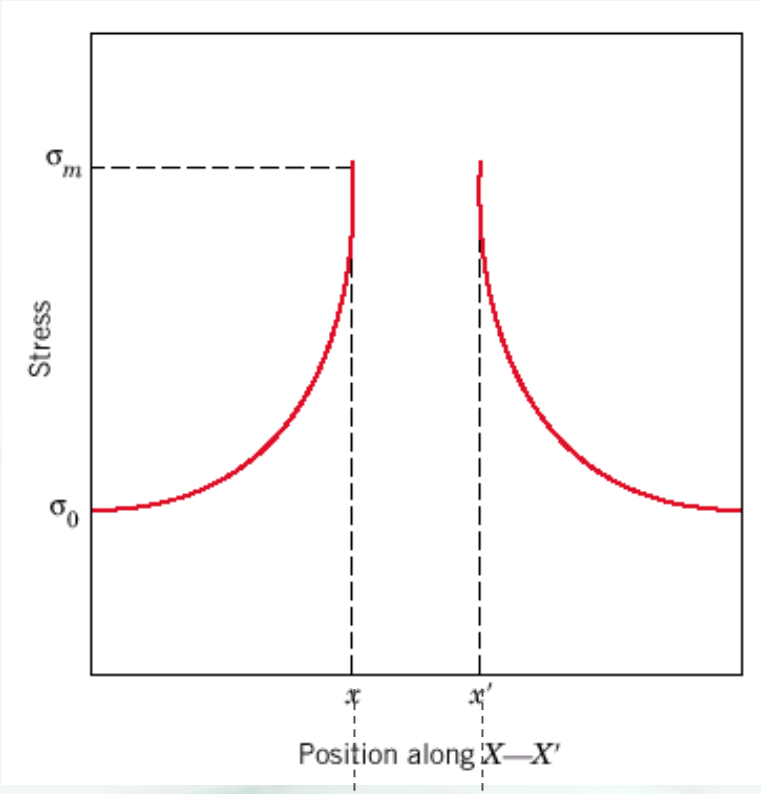
تنش اعمالی خارجی

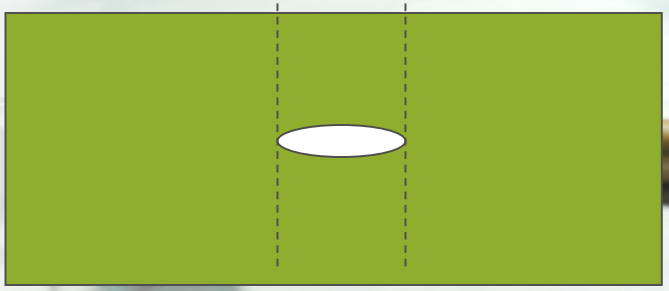
a: طول ترک لبه ای یا نصف طول ترک داخلی

ρ: شعاع انحنای نوک ترک

تمرکز تنش و تئوری ترک گریفیث







تئوری ترک گریفیث

در حقیقت تنش واقعی که در نوک ترک عمل می کند، بسیار بالاتر از تنش اعمالی است و شکست در یک تنش موضعی نزدیک به مقدار تئوری روی می دهد. در عمل در نوک ترک به علت تمرکز تنش زیاد، تنش به تنش تئوری نزدیک شده و شرایط برای شکست فراهم می گردد.

براساس تئوری ترک گریفیث، پایین بودن استحکام الاستیک ناشی از وجود ترک ها در داخل جسم است. ترک هنگامی رشد می کند که انرژی الاستیکی آزاد شده (در اثر شروع تغییرشکل پلاستیک)، برابر با انرژی لازم برای ایجاد سطوح جدید باشد.

تئوری ترک گریفیث

ترکی به طول 2C در داخل ورق نازک (شرایط تنش صفحه ای، $\sigma_z = 0$) را در نظر بگیرید. انرژی کرنشی الاستیک در واحد ضخامت ورق برابر است با:

$$U_E = -\frac{\pi C^2 X^2}{E}$$

X، تنش کششی عمودی وارد بر ترک به طول 2C است. چون با رشد ترک، انرژی کرنشی الاستیک آزاد می شود، علامت منفی داریم.

تئوری ترک گریفیث

انرژی سطحی ناشی از وجود ترک در واحد ضخامت ورق عبارتست از:

$$U_C = 4C\gamma_S$$

تغییر کلی انرژی پتانسیل حاصل از ایجاد ترک عبارتست از:

$$\Delta U = U_S + U_E$$

تئوری ترک گریفیث

براساس معیار گریفیث اگر افزایش طول ترک باعث تغییر در انرژی کل سیستم نشود، ترک تحت تنش ثابت انتشار می یابد. به عبارتی افزایش انرژی سطحی با کاهش انرژی کرنشی جبران می شود.

با توجه به روابط انرژی کرنشی الاستیک و انرژی سطحی و نیاز به عدم تغییر انرژی کل سیستم با دیفرانسیل گرفتن از رابطه انرژی کل و صفر قرار دادن آن، تنش لازم برای شکست پیوندها و انتشار ترک در یک جسم ترد برابر است با:

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a}\right)^{1/2}$$

این معادله تنش لازم برای انتشار ترک در یک جسم ترد را به صورت تابعی از اندازه ترک نشان می دهد. مطابق این معادله، تنش شکست با جذر طول ترک به طور معکوس متناسب است، لذا با ٤ برابر شدن طول ترک، تنش لازم نصف می شود.

پس شکست هنگامی اتفاق می افتد که $\sigma m = \sigma c$

Company Logo

چقرمگی شکست

روش دیگر جهت پیش بینی تنش شکست استفاده از انرژی جذب شده توسط ماده (چقرمگی شکست، Fracture Toughness) است. در این روش انرژی جذب شده توسط ماده باید به انرژی شکست برسد. با استفاده از اصول مکانیک شکست، رابطه بین تنش بحرانی لازم برای پیش روی ترک و چقرمگی شکست ارائه شده است .

$$K_I = Y\sigma_c\sqrt{\pi a}$$

σ_c : تنش بحرانی لازم برای پیش روی ترک با طول a

K_I: چقرمگی شکست

Y Y، یک پارامتر بدون بعد بوده که تابع هندسه و اندازه قطعه و محل قرارگیری ترک است.

چقرمگی شکست

چقرمگی شکست، خاصیتی از ماده است که نشان دهنده مقاومت جسم در مقابل شکست ترد در حضور ترک است. واحد آن $MPa\sqrt{m}$ است.

اگر ترک در داخل جسمی با ضخامت بالا باشد (کرنش صفحه ای)، تنش شکست عبارتست از:

Plain Strain:

$$K_I = \sigma \sqrt{(1-\nu^2)\,\pi c}$$

چقرمگی شکست

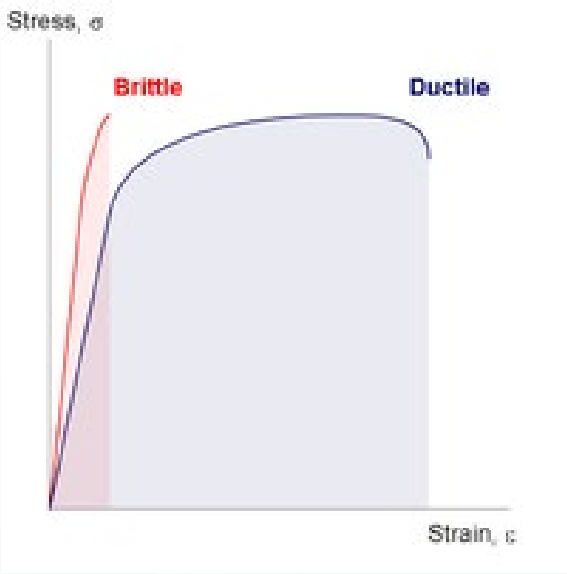
مقدار انرژی لازم جهت شکستن قطعه را چقرمگی (Toughness) گویند.

نیرو× فاصله = انرژی

$$\int_0^{\varepsilon} \sigma \, d\varepsilon$$

چقرمگی، سطح زیر منحنی تنش- کرنش است.

مقدار کار لازم برای آن که واحد حجم ماده را از تنش صفر به تنش پارگی برساند، چقرمگی نام دارد.



انرژی لازم برای شکست ماده چقرمه بیشتر از ماده ترد است.