

پویا رحیمی

هانیه روح بخش



زینب خشنود

زهرا رضانی

فریده آیاره

V1

2&3

99/01/22

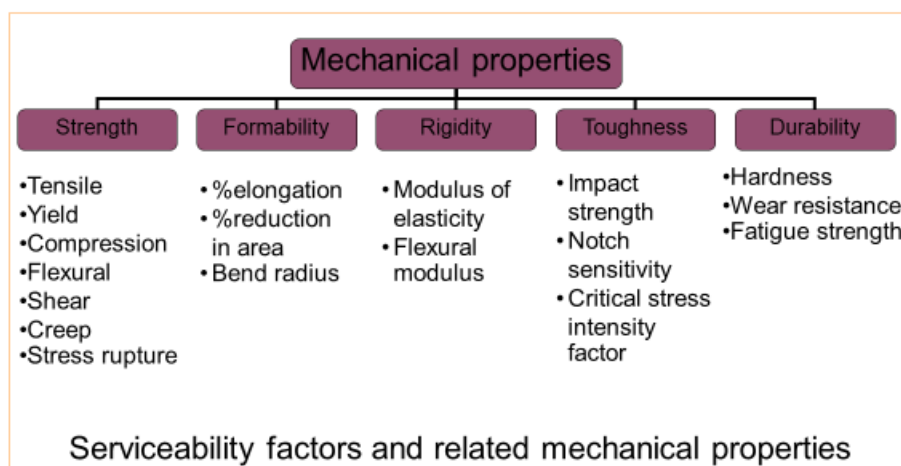
دکتر باقری

مواد دندانی

هدف از این جلسه بررسی خواص مکانیکی ماده و تاثیر این خواص بر کاربرد آنهاست¹.

اگر مواد را بر اساس این خواص دسته بندی کنیم در گروه های مختلفی قرار می گیرند که در ادامه درباره هر کدام از آن ها توضیح داده خواهد شد.

پنج کلاس اصلی و زیر کلاس های آن ها در جدول زیر ذکر شده اند که در متن نیز دسته بندی آن ها نوشته شده و به علت پراکندگی توضیحات، هر کدام در بعد توضیح داده خواهند شد.



Tensile Test
Impact Test
Hardness Test

2

دوستان امتحان تشریحی است (صرفاً جهت اطلاع) ●¹

strength: به زبان فارسی به معنای استقامت است که شامل موارد:

می باشد. Tensile, yield, compression, flexural, shear, creep, stress rupture

Formability: به معنای قابلیت شکل پذیری یک ماده می باشد بنابراین اگر درصد elongation (طویل شدن) یا درصد reduction (کوچک شدن، تقلیل) یک ماده را در نظر بگیریم formability آن ماده را توصیف کرده ایم.

Rigidity: به معنای سختی و انعطاف ناپذیری است که شامل موارد Modulus of elasticity و flexural modulus می باشد.

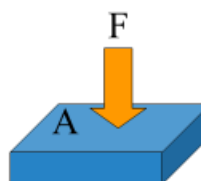
Toughness: شامل موارد impact strength, Notch sensitivity و critical stress intensity factor (شدت استرس) می باشد.

Durability: به معنای توانایی ماندگاری یک ماده در گذر زمان است. که شامل wear resistance (مقاومت در برابر سایش) و fatigue strength و hardness می باشد.

Stress: یک خاصیت مکانیکی است که باعث می شود بتوانیم اعمال کشیدن (pulling) فشردن (pushing), shear و twist را روی یک ماده انجام دهیم که بنا به ظرفیت ماده، این ماده یا تغییر میکند یا به حالت اولیه بر میگردد.

■ A stress is a measure of the force in a component relative to the cross-sectional area over which the force is applied.

= Force per unit area



$$\sigma = F/A$$

(units: N/m² or Pascal (Pa), psi)



8

اگر این استرس از نوع tensile باشد یعنی ماده را می کشیم (pulling)

اگر استرس از نوع compression باشد یعنی ماده را فشرده می کنیم. (pushing)

استرس shear به معنای لغزاندن و استرس twist به معنای پیچاندن ماده می باشد. در استرس bending به یک نقطه فشار وارد شده و ماده از آن نقطه خم می شود. بنابراین در اثر استرس یک ماده تغییر شکل می دهد که ممکن است این تغییر ماندگار باشد و یا ماده به حالت اولیه بازگردد. به این تغییرات که تجمعی از آثار strain ها هستند deformation گفته می شود و دو نوع از آن در ماده مشاهده می شود. پس توان و component یک ماده یا از نوع الاستیک و یا از نوع پلاستیک است.

تغییرات الاستیک:

اگر نیرو در حدی باشد که در اثر آن پیوند بین اتم ها نشکند، فقط جا به جا شوند و component ماده به حالت اولیه باز گردد، به این تغییرات elastic deformation گفته می شود.

تغییرات پلاستیک:

اما اگر در اثر نیروی اعمال شده، علاوه بر جابجایی اتم ها شاهد شکستن پیوند ها و ایجاد پیوند های بین اتمی جدیدی باشیم که امکان ریکاوری به حالت اولیه را از ماده سلب می کند، تغییرات برگشت ناپذیر خواهند بود و plastic deformation ایجاد میشود.

TYPES OF STRESS

Force	Deformation	Type of stress
axial	← elongation	tensile
	→ shrinkage	compressive
shear	shear	shear
twisting moment	torsion	torsional
bending moment	bending	bending



9

انواع استرس:

نیرویی که یک جسم متحمل می شود علاوه بر مقدار آن نیرو به سطحی از جسم که تحت آن نیرو قرار می گیرد نیز بستگی دارد. استرس اندازه ی نیرویی است که به یک جسم در یک سطح مقطع مشخص وارد می شود. و بعلاوه کم بودن سطوح دندانی در حد میلی متر معمولا با یکای مگاپاسکال اندازه گیری می شود.

Axial: اگر استرسی که وارد میکنیم از طرفین وارد شود که دو نوع است. اگر کششی^۲ باشد ، تغییر شکل بصورت elongation است.

اگر فشاری^۳ باشد، تغییر شکل بصورت shrinkage است.

Shear: اعمال نیرو در دو جهت مختلف

twisting: با حرکت torsion می توان نیروی twist را اعمال کرد که برای بیرون آوردن پالپ هنگام اندو و یا جداکردن سیم های ارتودونسی استفاده می شوند.

Bending پیچیده تر و مانند shear ترکیبی از نیروهای ساده تر هستند.

Force: جهت و محور وارد شدن نیرو

Deformation: پاسخ ماده به نیرو

Type of stress: نام نیرو

Strain:

میزان deformation که میتواند الاستیک یا پلاستیک باشد را گویند(اندازه گیری تغییرات شکل^۴). که برابر با حاصل تقسیم تغییر طول ماده بر طول اولیه است.

نکته strain واحد ندارد زیرا صورت و مخرج هر دو هم واحد بوده است.

دراثر اعمال نیرو به مواد امکان شکستن و fail شدن آنها وجود دارد.

failure زمانی است که ما بیشتر از حد استانه و threshold تحمل الاستیک به پلاستیک ان ماده، به ان نیرو وارد میکنیم.

² tensile

³ compressive

⁴ deformation

سوال آیا deformation همیشه بد است و نوعی failure به حساب می آید؟ خیر همیشه بد نیست زیرا برخی deformationها نیاز هست که انجام گیرد مثلا در سیم های ارتودنسی برای حرکت دادن دندانها، سیم باید دچار تغییرات پلاستیک گردد و حالت های مختلفی در سیم ایجاد کنیم.

Strength

میزان استرسی است که لازم است تا : یک ماده بشکند یا وارد مرحله ی plastic deformation (ultimate strength) بشود. میزان استرسی که به مواد دندانی وارد میشود نباید از strength آن ماده بیشتر باشد.

Elastic modulus یا ضریب کشسانی (E)

خاصیت مهندسی ماده است. معیار مهمی در اندازه گیری stiffness و الاستیسیته ی یک ماده و تعیین کننده deflection یک قسمت از یک ماده ی تحت فشار است. یعنی ماده بعنوان یک فنر عمل میکند. موادی که elastic modulus بالایی دارند و stiffness بالایی دارند. شیب منحنی است که در منطقه الاستیک بین stress و strain قرار میگیرد. (فرمول =نسبت stress به strain).

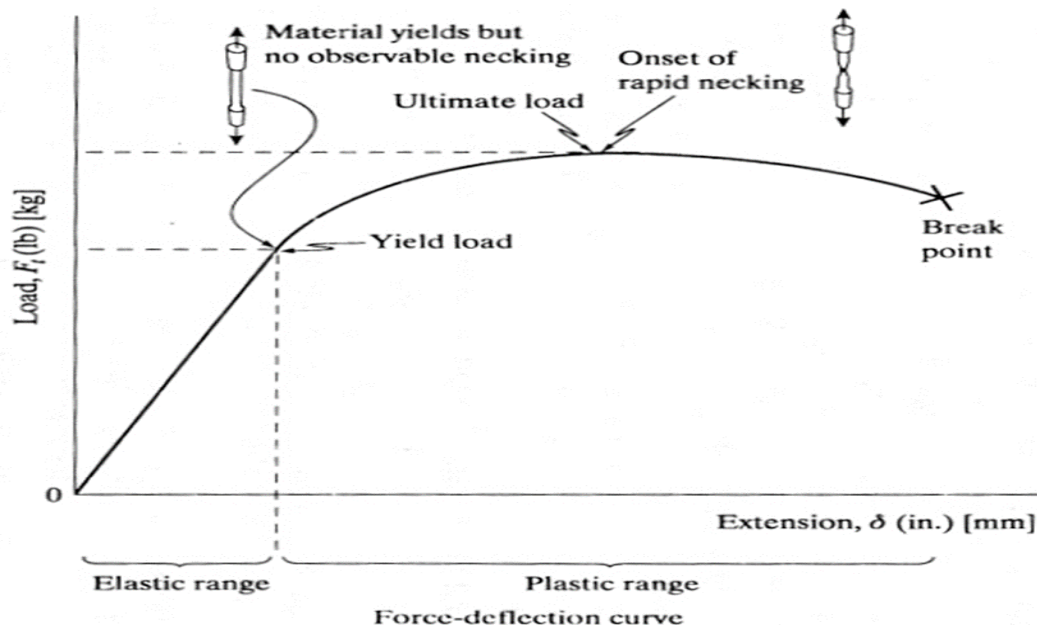
وقتی میخواهیم هر یک از خواص مکانیکی یک ماده tensile strength، tensile modulus، tensile strength، compressive strength، shear stress، fracture toughness، twisting، bending و... را اندازه بگیریم از دستگاه universal testing machine استفاده می کنیم.

نکته: دستگاه universal testing machine قادر به اندازه گیری hardness ماده نمی باشد چون hardness بیشتر یک تست فیزیکی (نه مکانیکی) است.

دستگاه universal testing machine قادر به اندازه گیری strain، stress و strength است. ماده ی مورد نظر را در دستگاه می گذاریم و آن را می کشیم (pulling)، تا جایی که ماده مورد نظر failure بدهد و بشکند. نموداری رسم میشود که در آن از زمانی که ماده تحت فشار قرار می گیرد تا زمانی که می شکند را مورد بررسی قرار می دهد و بوسیله ی آن میتوان مواد brittle مانند کامپوزیت و پرسلند و مواد ductile مانند فلزات قلع و سرب و... را متمایز کرد.

tensile test: نمونه را به آرامی در دستگاه universal testing machine می کشیم تا بشکند و نمودار رسم شده را تفسیر می کنیم. (نمودار گویای همه چیز است).

این curve را ss می نامند (همان stress بر strain) که یک طرف آن force یا load است و یک طرف محور displacement یا force deflection است.



نمودار به دو ناحیه تقسیم میشود:

1. elastic range
2. Plastic range

همانطور که گفته شد اگر ماده ای در فاز الاستیک تغییر شکل پیدا کند و پس از آن نیرو برداشته شود، ماده به حالت صفر برمی گردد ولی در فاز پلاستیک اینگونه نیست.

یادآوری strength برابر نیرو بر cross sectional area است و strain برابر تغییر طول بر طول اولیه.

فاز الاستیک

رابطه ی بین stress و strain خطی است. خطی که از صفر شروع و به yield load میرسد. یک خط صاف شیب دار است و شیب آن نشان دهنده elastic modulus است. نقطه ی عطف جایی که نمودار میخواهد از رابطه ی خطی خارج شود را proportional limit (محدوده ی تناسب یک به یک) می نامند PL. نقطه ای است که ماده برای اینکه از الاستیک به پلاستیک برود مقاومت میکند.

yield strength/yield load: مرز یا محدوده ی بین الاستیک و پلاستیک است، بدین معنا که اگر فقط در حد

yield نیرو وارد کنیم و بعد نیرو را کاملاً برداریم، ماده به حالت اول (با ۰.۲% offset یا انحراف) بر می گردد.

در شکل زیر خط چین جایی است که نیرو کمی از proportional limit بیشتر شده و با قطع آن نیرو، ۰.۲% انحراف از حالت اولیه خواهیم داشت. (در صورت شکست، ماده brittle است).

ultimate tensile strength: بیشترین نیرویی که جسم می تواند تحمل کند بدون اینکه بشکند.

بعضی مواد در ناحیه ی ultimate می شکنند که این مواد ductile اند ولی قدرت کش آمدن بعد از ductility را ندارند مانند فولاد و استیل، اما برخی مواد مثل قلع و سرب و مس حتی بعد از ultimate tensile strength نمی شکنند و فقط سطح مقطعشان نازک می شود که به آن مرحله ی necking می گویند.

breakdown: همه ی مواد این مرحله را دارند. و در هر نقطه ای ممکن است اتفاق بیفتند.

نکته هرچه شیب نمودار بیشتر باشد، ماده stiff تر است و elastic modulus بالاتری دارد.

نکته همه ی مواد، brittle، ductile، رفتار الاستیکی را دارند و فقط شیب فاز الاستیکی مواد مختلف با هم متفاوت است؛ هر چه شیب بیشتر، elastic modulus و stiffness بیشتر.

اگر استرس ادامه پیدا کرد، نمودار یک deviation یا انحنای پیدا میکند ولی همچنان در مرحله ی الاستیک است؛ میزان تنش و نیرویی که باعث می شود ماده مقاومت کند تا از مرحله ی الاستیک به مرحله ی پلاستیک نرود را proportional limit می نامند و بعد از آن yield strength را داریم که با برداشت نیرو، تغییر شکل مولکولی کمی اتفاق می افتد و ماده ی مورد نظر به جای اینکه به صفر برگردد به نزدیک صفر برمی گردد. (با ۰.۲٪ انحراف)

• yield strength و proportional limit هر دو جز الاستیک اند.

وقتی نیرو ادامه پیدا می کند و از yield strength عبور می کند، از حالت خطی خارج شده و با برداشتن نیرو، ماده به حالت اول برنمی گردد و در همان حالت می ماند تا وقتی که بشکند.

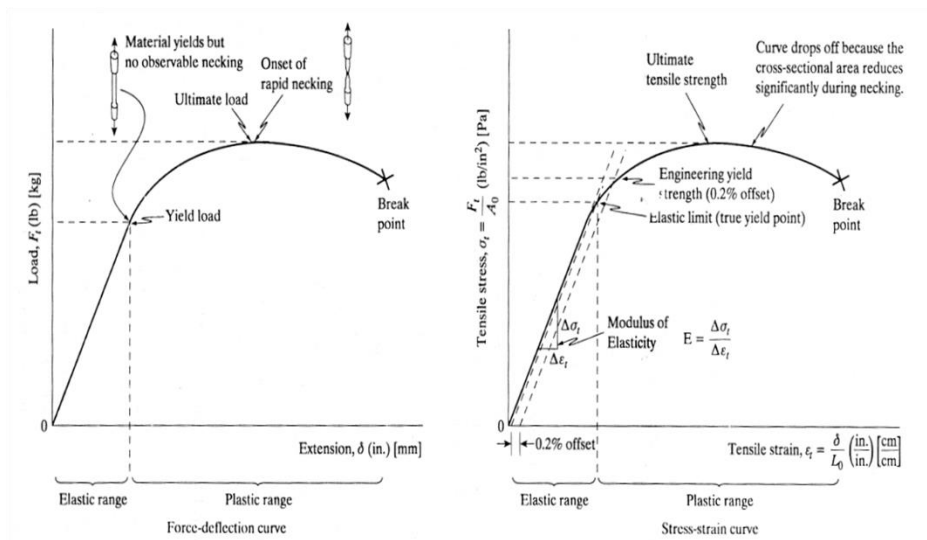
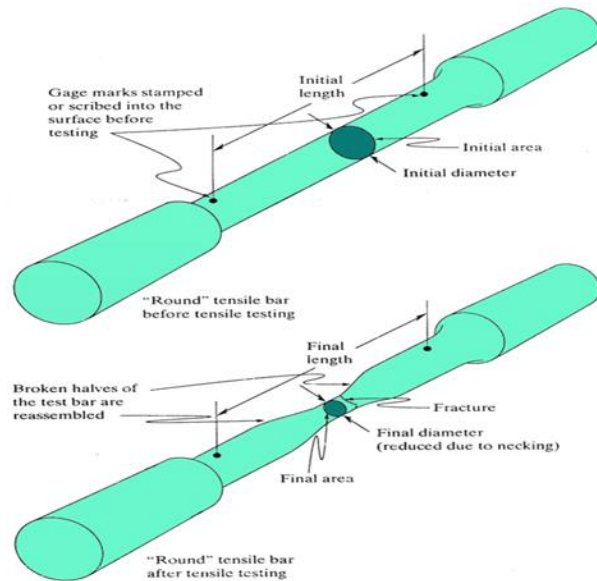
• ultimate tensile strength حداکثر نیرویی است که ماده می تواند تحمل کند تا به مرحله ی necking برود یا بشکند.

نمودار بالا نشان می دهد که ماده ی مورد آزمایش یک فاز دیگر را بعد از ultimate strength دارد و در فاز ultimate strength نمی شکند و باز هم کش می آید که در این مرحله ی کش آمدن، یک کاهش cross sectional اتفاق می افتد یعنی ماده نازک می شود که به آن necking می گویند و بسته به میزان تحمل ماده، این مرحله آنقدر ادامه پیدا می کند تا به break point برسد.

نکته اگر ductility و قدرت ارتجاعی ماده کم باشد، necking نخواهد داشت.

• در مرحله ی necking نیرویی اضافه نمی شود و همان نیروی ultimate اعمال میشود و فقط ماده در برابر نیروی ultimate از خود مقاومت نشان میدهد.

دستگاه ما متوقف نمی شود ولی می بینیم که نمودار آن متغیر است و نشان دهنده ی این است که شکستی در ماده اتفاق افتاده یا دارد necking پیدا می کند و با توجه به خاصیت ماده می توانیم شرایط را حدس بزنیم.



تعریف **ductility**: اندازه گیری خاصیت و توانایی یک ماده که آیا میتواند حالت ارتجاعی داشته باشد و کش بیاید و به مرحله پلاستیک برود.

Elongation: اندازه گیری میزان ductility

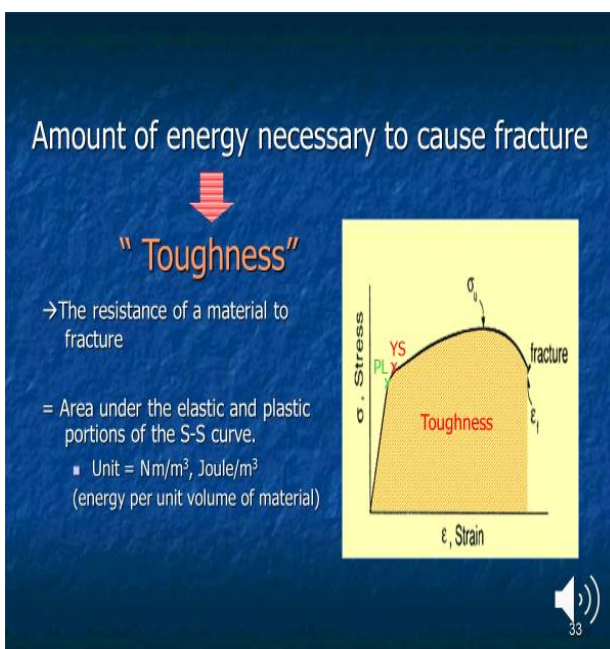
هر چه درصد elongation بیشتر باشد ماده ductile و formable تر است و می توانند آن را در صنعت فرم دهند. Ductility مربوط به زمانی است که ماده در حالت plastic deformation باشد.

ماده ی brittle ماده ای که بدون اینکه وارد مرحله ی plastic deformation شود بشکند مثل: شیشه، سنگ و steel های high strength.

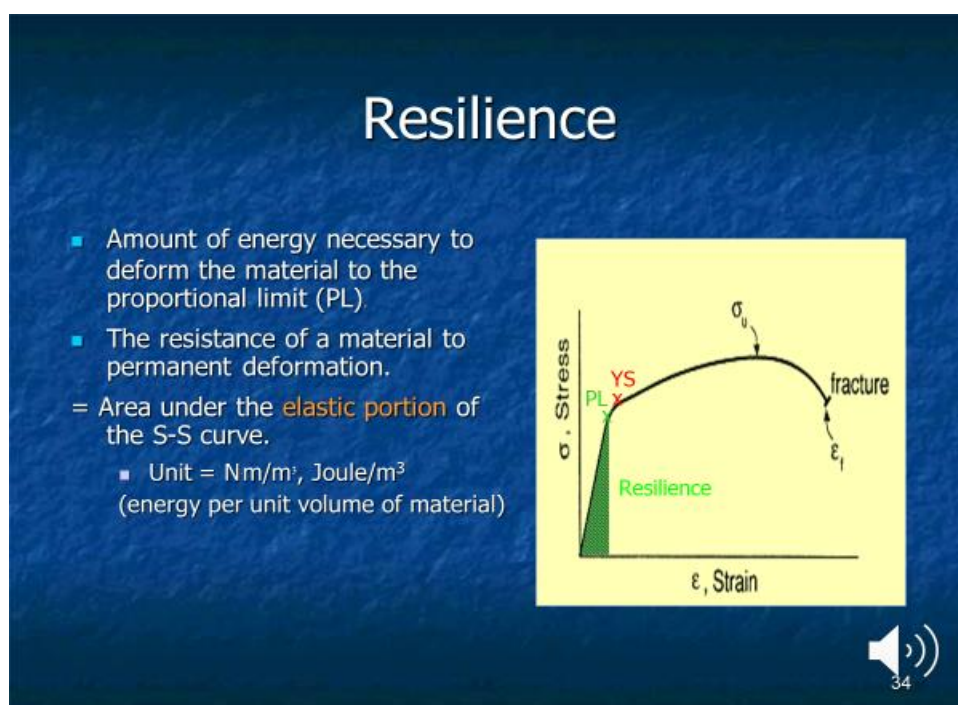
ماده ی ductile: ماده ای که می تواند به plastic deformation برسد و بعدا بکشند.

انرژی

مقدار انرژی که برای شکستن یک ماده ductile لازم است را toughness میگویند و مساحت زیر نمودار در ناحیه الاستیک + ناحیه پلاستیک می باشد. واحد آن نیوتون بر متر مکعب یا ژول بر متر مکعب می باشد.



مقدار انرژی که برای شکستن یک ماده brittle لازم است را resilience میگویند و مساحت زیر نمودار در ناحیه الاستیک می باشد. انرژی کمی لازم است که یک ماده brittle بشکند.

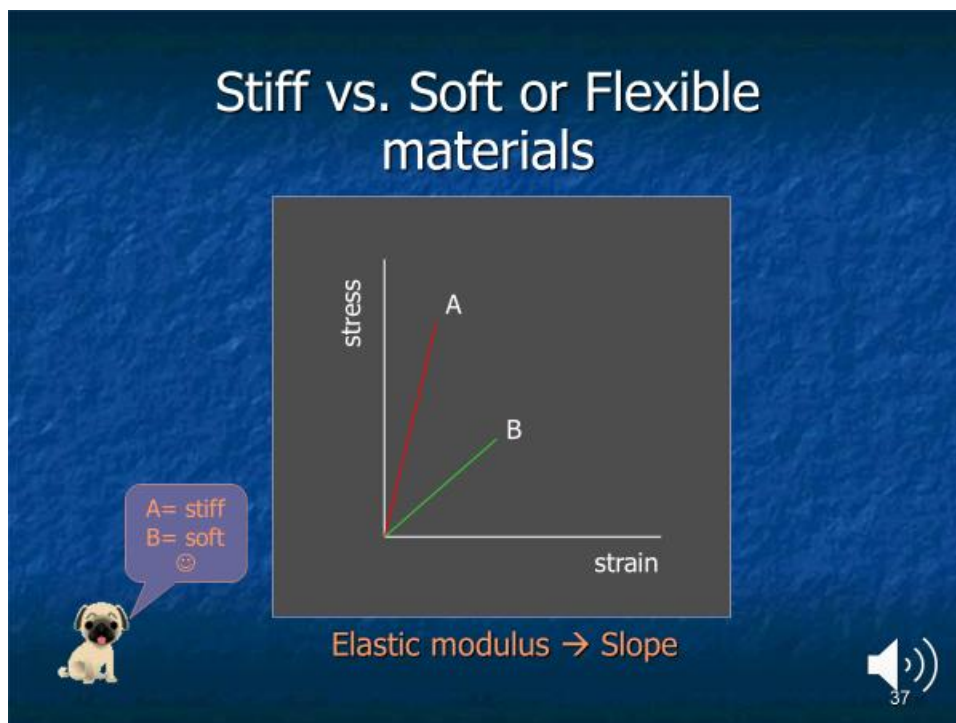


Toughness شامل resilience میشود ولی resilience شامل Toughness نمی شود. زیرا resilience یک بخش از نمودار بخش linear است.

تعریف toughness: مقدار انرژی لازم برای ایجاد شکست (fracture) در ماده.

اهمیت نمودار stress-strain:

1. به شما نشان می دهد یک ماده stiff است یا خیر
2. به شما نشان می دهد modulus of elasticity آن چقدر است.
3. مقدار strength را نشان می دهد
4. نشان می دهد که ماده ductile است یا brittle
5. نشان می دهد ماده weak است یا strong
6. shape curve خواص ماده را مشخص می کند.
7. area زیر curve به ما نشان میدهد که چقدر انرژی نیاز است که یک ماده بشکند یا از حالت elastic به plastic برود.



ویژگی های مکانیکی دندان (Mechanical Properties of Tooth Structure)

Elastic modulus : برای اندازه گیری stiffness مواد بکار میرود.

Yield strength: برای تخمین shear strength مواد بکار میرود.

نسبت Yield strength به ultimate tensile strength : برای تخمین زدن درجه work hardening بکار میرود.

reduction : در زمان compression اتفاق می افتد، برای اندازه گیری ductility & toughness

1 Enamel در قسمت کاسپ strong تر از قسمت های صاف مثل buccal و lingual surface است.

2 Compressive strength مینا از tensile strength آن بالاتر است. یعنی فرد اگر به طور عادی غذا را بجود مشکلی برای enamel پیش نمی آید ولی اگر با دندان در نوشابه را باز کند یا گردو بشکند ، چون علاوه بر فشار compression فشار tensile هم وارد می شود در نتیجه enamel ترک می خورد.

۳ Dentin نسبت به enamel ، tensile strength بالاتری دارد ۵۰ نسبت به ۱۰ مگاپاسکال

4 proportional limit و elastic modulus شامل بیشتر از dentin است.

Enamel در مقایسه با dentin ، resilience کمتری دارد.

Tensile strength : کشیدن ماده (مثل تبدیل کردن یک ورقه طلا به سیم)

Compressive strength : فشار دادن ماده (مثل پهن کردن ورقه طلا با چکش)

Ultimate strength : را می توانیم برای ماده ای که نیروی compressive به آن وارد کردیم مطرح کنیم

فشار shear : فشاری که کمپلکسی از compressive و tensile است.

بعضی نیروها مثل compressive و tensile ، simple هستند ولی بعضی دیگر مثل twist ،

bending, shear, flexural و complex هستند.

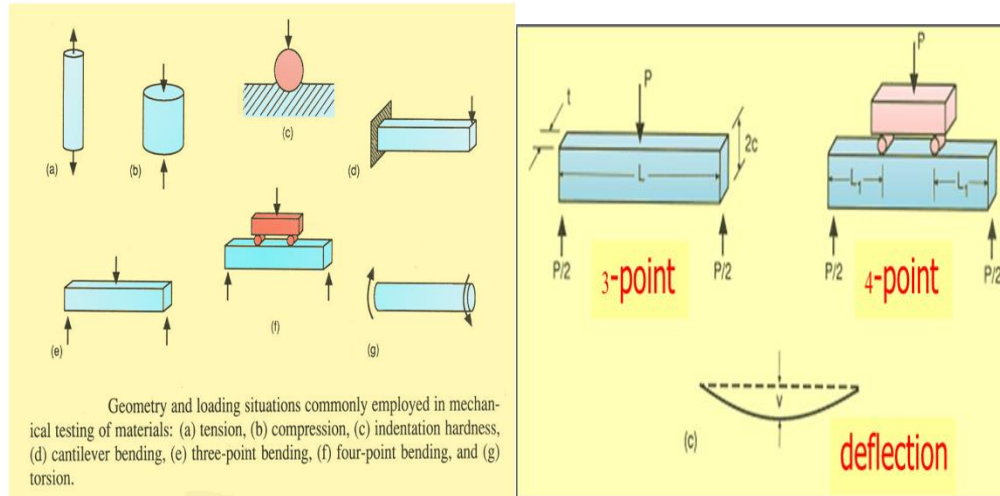
Cantilever: یک نوع نیروی bending اما یکطرفه است مانند الاکلنگ. مثل دندانهای بریج ، دندان

مصنوعی با یک پایه

Bending: اگر در نیروی bending دو support از پایین داشته باشیم و یک نیرو از بالا وارد شود three

point bending و اگر دو Support از پایین و دو نیرو از بالا وارد شود four point bending گفته می

شود .



Torsion: وقتی که می خواهیم پالپ را بیرون بکشیم یا root canal therapy انجام دهیم یا نیروی tensile و compression می کنیم یا torsion به صورتی که file را در دندان می چرخانیم. گاهی نیز با نیروی twisting این کار انجام میشود. گفتیم ماده به دو صورت brittle و ductile است. Brittle ها بدون آنکه کش بیابند سریع می شکنند چون در ساختارشان حباب زیادی دارند. Brittle ها را اگر به صورت عادی تست کنیم در ساختمانشان استرس زیادی وجود دارد. (حباب زیادی دارند)

Tests for strain - stress measurement
Diameter compression test

- **Diametral Compression Test**
= alternative tensile test for brittle materials $TS = 2P/qDt$
- Tensile stress is directly proportional to the Compressive load

برای سنجیدن میزان tensile بودن یک ماده ی brittle به کار می رود .

$$\text{Tensile stress} : 2P / DT$$

پس tensile stress مستقیماً به نیروی Compressive مرتبط است نه نیروی tensile.

Bending stress

نوعی تنش طبیعی است که یک جسم در مواجهه با یک نیروی بزرگ در یک نقطه ی خاص تحمل می کند در حالی که دو پشتیبانی در دو انتها وجود دارد که باعث خمیده شدن و خستگی جسم می شود. در bending test ، stress و strain در مواد مورد آزمایش یکسان نیست. نیرو بصورت مساوی به یک ماده وارد نمیشود

از این تست برای فهمیدن قدرت تحمل مواد brittle در برابر نیروهای مختلف مثل tensile یا compression استفاده می شود.

Fracture toughness: برای مواد brittle استفاده می شود. وقتی در نمونه ی مستطیل شکل خود یک شکاف انتخابی بدهیم و زیر دستگاه بگذاریم، stress در آن نقطه متمرکز (localized) می شود و چون ما پیشرفت crack از آن نقطه به بعد را در نظر می گیریم و باعث می شود عدد واقعی را به دست بیاوریم. چون در تمام مواد دندانپزشکی Crack , flow و حباب های میکروسکوپی و نقص وجود دارد اهمیت این تست بسیار زیاد است.

پس fracture toughness به معنای مقاومت یک ماده به پیشرفت crack می باشد.

نکته fracture toughness از flexural strength سخت تر است.

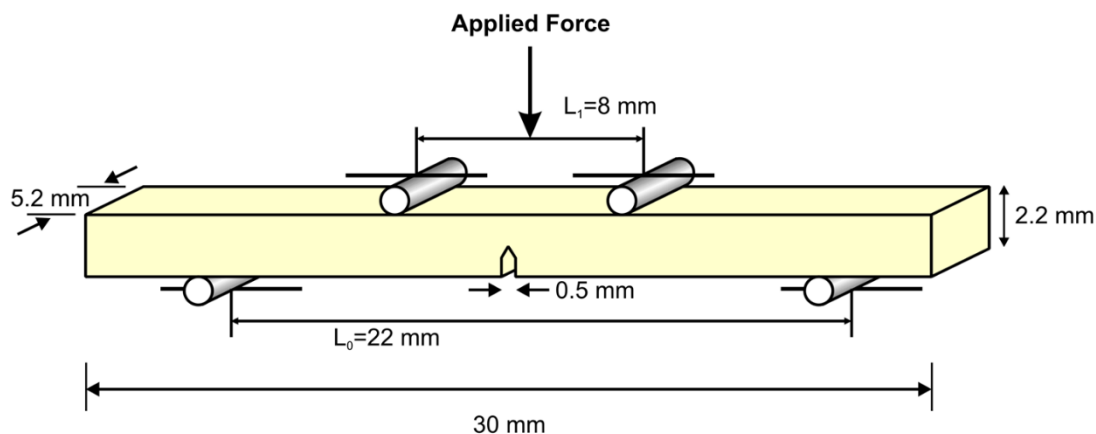
فرمول fracture toughness در حالت 4-point bending

$L_{-max} = \text{maximum load}$

l_o and l = the outer and inner roll span

W and h = width and height of the specimens

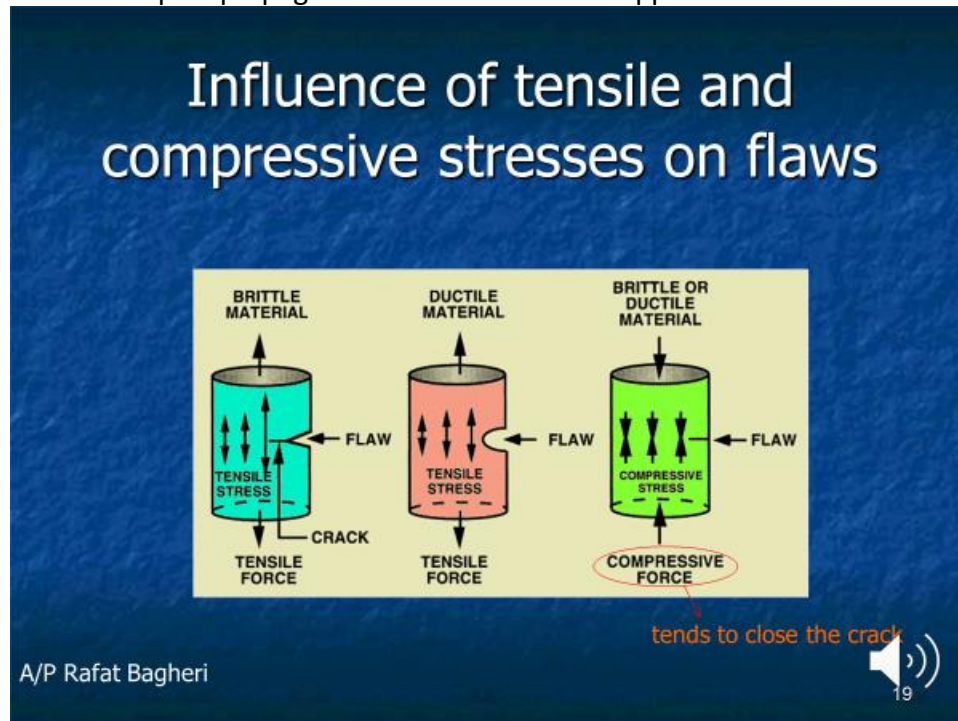
d = length of the crack



برای انجام این تست یک crack به عمق 0.5 mm ایجاد میکنیم. مولد را زیر دستگاه قرار می دهیم. از دو طرف نیرو وارد میکنیم و دو support هم در پایین داریم. نیرویی که وارد می شود تنها از نوع tensile می باشد. با همین نیرو crack پخش (propagate) می شود. اگر سریع پخش شود عدد کوچکی به دست می آید. پس Fracture toughness یک نوع bending test است که بیشتر برای مواد brittle به کار می رود.

برای مواد ductile فرق نمی کند نیرو compression باشد یا tensile در هر حال کش آمدگی خود را دارد Fracture toughness. برای این انجام می شود که همه مواد ساختار یکسانی ندارند. سوال چرا در fracture toughness ، crack ایجاد می کنیم ؟ جواب برای اینکه بدانیم کدام مواد tough (سخت) ترند . زمانی که crack (crack) ای که خودمان ایجاد کرده ایم نه Crack داخلی خود ماده (دیرتر propagate شود (پیش برود) ، ماده tough تر است و اصطلاح "propagation fracture toughness resistance to crack" برای آن به کار میبرند . نکته اگر Crack در خود ماده باشد دستگاه اتوماتیک نمیتواند تشخیص دهد stress کجا باید متمرکز (concentrate) شود بنابراین باید Crack را خودمان ایجاد کنیم.

The tougher the material , the more slowly the crack propagates .
Fracture Toughness, K_{Ic} : A mechanical property that describes the resistance of brittle materials to the catastrophic propagation of flaws under an applied stress



سوال چرا بعضی اوقات علیرغم تبلیغات کارخانه تولید کننده مبنی بر بالا بودن strength ماده (structural material) structure ها با نیروی خیلی کمی fail می شوند؟

جواب بعضی اوقات به دلایل زیر failure انجام میشود : (با فرض استاندارد بودن تست)

- ✓ استرس از چندین جهت باشد.
- ✓ استرس بطور مکرر گذاشته و برداشته شود.

✓ جهت استرس بطور مکرر عوض شود.

✓ استرس بطور طولانی مدت اعمال شود.

در مواد دندانپزشکی از همه مهمتر، وجود crack است (که در مخلوط کردن تا handle کردن و... باید دقت کنیم)

Stress concentration:

معمولا stress در یک نقطه خاص localize می شود و باعث میشود در همان نقطه حباب یا شکاف (crack or flaw) ایجاد شود. علت آن microscopic flaw (شکاف های میکروسکوپی) یا microstructural defects (نقص در ساختار های ریز) است. برای از بین بردن آنها معمولا بهترین راه این است که هر ماده ی دندان پزشکی را طبق اصول صحیح polish کنیم. فرایند polishing (پردازش) دارای اصول و مراحل است که برای مواد (از زبر تا نرم) انجام میشود.

نکته اگر بخواهیم برای مواد brittle (شکننده) تست fracture (شکندگی) بگیریم از fracture toughness test و اگر بخواهیم تست tensile (کشش) بگیریم از diametral test استفاده میکنیم.

نکته tensile test بر عکس diametral است و نیروی کشش به سمت خارج ماده وارد میشود.

نکته حین استفاده از نیروهای compression (فشاری)، تست fracture toughness از flexural بهتر است. با وجود اینکه fracture toughness سخت است. احتمال خطای بالایی دارد و ماده ی زیادی مصرف می کند.

یادآوری برای flaw یا شکاف از تست diametral استفاده می کنیم.

نکته مهم برای تست مواد ductile بر خلاق brittle ها، از نیروی tensile استفاده میکنیم و از diametral استفاده نمیشود.

تفاوت hardness و stiffness

Hardness: مقاومت سطح ماده در برابر خراش (ability to resist scratching)

Stiffness: مقاومت در برابر شکستن (تغییر شکل)

تست hardness معیار خیلی مهمی برای selection مواد دندان پزشکی است. برای مثال نباید دو ماده با hardness خیلی متفاوت در دهان روبروی هم قرار گیرند چون ماده hard تر باعث سایش (Wear) ماده دیگر میشود.

نمونه سوال امتحان هر ماده ای که Wear resistance (مقاومت در برابر سایش) بالایی دارد، hardness بالایی هم دارد. این عبارت نادرست است و در جواب باید گفت نمیدانیم باید تست شود به عنوان مثال اگر ماده ای hardness کمتری از ماده ی دیگر داشته باشد ولی توانش در برابر wear بالا باشد، ساییده نمی شود، ولی میدانیم که Wear resistance با hardness ارتباط دارد. دستگاه microhardness tester برای تست hardness استفاده میشود.

که بیشتر برای مواد قالب گیری و پلاستیکی که elasticity بالایی دارند استفاده می شود (در این دستگاه هرچه گوی بیشتر و سریعتر در ماده فرو رود، hardness کمتر است و بالعکس).

امروزه hardness را به صورت digital تست میکنیم که معروفترین آنها دستگاه های Knoop و Vickers است.

سایر digital hardness tester ها عبارتند از:

Brinell و Rockwell که کمتر در دندان پزشکی و بیشتر برای فلزات استفاده میشود.

Shore Durometer که غالبا برای مواد قالب گیری استفاده می شود.

جدول زیر حفظ شود

نکته شکلی که Knoop hardness روی ماده به جا می گذارد به صورت یک لوزی خوابیده است در صورتی که در Vickers hardness به صورت یک لوزی برجسته است. (به دلیل تفاوت indenter آنها)

نکته هر چه عدد بدست آمده بالاتر باشد hardness بیشتر است ولی هر چه لوزی بزرگتر باشد یعنی hardness کمتر است.

Hardness Tests

Hardness Test	Indenter	Load	Application
Knoop or Vickers	Diamond	1 – 2000 g	Microhardness of soft steels to ceramics
Brinell	Ball	500 & 3000 kg	Soft steels & metals
Rockwell	Ball	100 kg	Soft steels & nonferrous metals,...etc.
Shore Durometer	Needle	Spring	Elastomers

اهمیت hardness

دو تا دندان که در دو فک در مقابل هم قرار میگیرند، دندانی که hardness بیشتری دارد ، دندان روبرویش را دچار ساییدگی و خراش میکند.

مثال:

پرسلان ها، دندان طبیعی را دچار پوسیدگی میکنند.

دندان طبیعی ، دندانهای مصنوعی از جنس آکرلیک را دچار پوسیدگی میکنند.

Hardness طلا با مینای دندان برابر است.