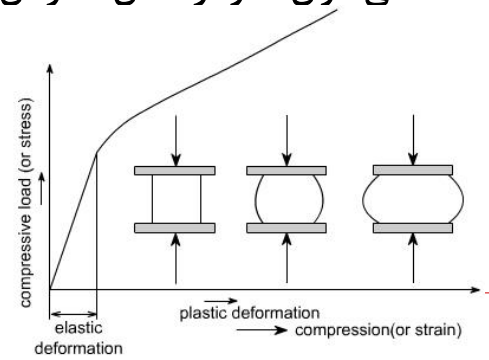
آزمایش فشار (Compression test)

نمونه استاندارد به شکل استوانه کوچک ، بین ۲ فک دستگاه قرار می گیرد. نیازی به بستن نمونه نیست و تحت نیروی فشاری در دستگاه باقی می ماند .

- نیرو فشاری تک محوری تدریجا افزایش می یابد. همزمان ارتفاع نمونه کاهش و سطح مقطع آن افزایش می یابد تا این که خرد شود. از نمودار نیرو- کاهش ارتفاع (ترسیمی) دستگاه می توان نمودار تنش- کرنش مهندسی را بدست آورد.



1

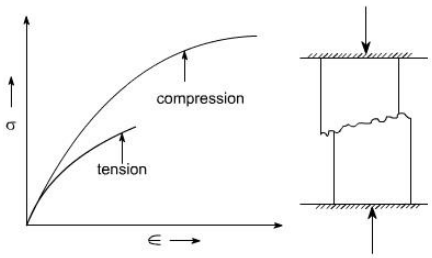
- با کاهش ارتفاع نمونه، اجزای ماده بطور شعاعی به سمت خارج حرکت می کنند و باعث افزایش سطح مقطع نمونه می شوند

- در آزمایش فشار نمونه حالت بشکه ای پیدا می کند که به خاطر اصطکاک در سطح تماس فک با نمونه است. اصطکاک خلاف جهت حرکت شعاعی ماده به سمت خارج، ظاهر می شود و در نتیجه ماده در سطح تماس حرکت شعاعی کمتری نسبت به بقیه مناطق خواهد داشت و شکل بشکه ای حاصل می شود. هر چه ارتفاع کمتر شود، حالت بشکه ای بیشتر می گردد

2

کاربرد آزمایش فشار

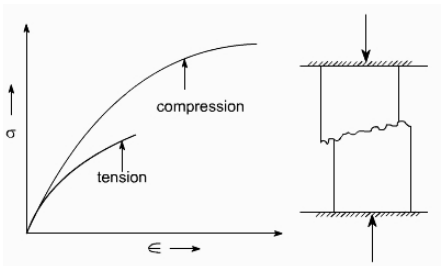
- تعیین خواص فشاری ماده (برای طراحی در شرایط فشاری)
- در آزمایش فشار، ماده کرنش های بالاتری را در مقایسه با کشش تحمل می کند تا به شکست برسد (طبق شکل). بنابر این اگر بخواهیم رفتار ماده را در تغییر شکل های بزرگ تر بدانیم از اطلاعات آزمایش فشار استفاده می کنیم. به عنوان مثال از این اطلاعات در فرایندهای ساخت بهره گرفته می شود
- بعضی از مواد تحت کشش شکننده هستند مانند سرامیک ها و برای مطالعه رفتار تغییر شکل آنها مجبور به آزمایش فشاریم



3

مقایسه آزمایش فشار و کشش

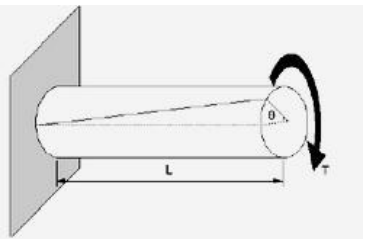
- ۱- نمودار کشش دارای ماکزیمم اما نمودار فشار سیر صعودی دارد تا بشکند
- ۲- در فشار به کرنش بالاتری می رسیم
- ۳- پدیده گلویی در کشش (در نقطه ماکزیمم نیرو یا تنش مهندسی) و پدیده بشکه ای در فشار مشاهده می شود

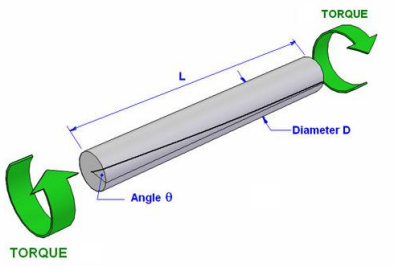


4

آزمایش پیچش (Torsion test)

نمونه استاندارد به شکل میله یا لوله ، از یک سر درون دستگاه پیچش بسته می شود و از سر دیگر تحت پیچش قرار می گیرد. گشتاور تدریجا افزایش می یابد تا نمونه بشکند. از این آزمایش نمودار تنش- کرنش برشی استخراج می شود $(\tau - \gamma)$





- محور ماشین آلات، محورهای متحرک و مته های پیچشی نمونه هایی از قطعات تحت پیچش هستند

5

سختی (Hardness)

یک خاصیت مهم مکانیکی دیگر سختی است

- سختی عبارت است از مقاومت ماده در برابر تغییر شکل پلاستیک موضعی (تغییر شکل به صورت خراش یا فرورفتگی)

معمولا اولین خاصیت مکانیکی که تعیین می شود سختی است چون

۱- ساده و ارزان: نمونه آماده سازی چندانی ندارد و دستگاهها نسبتا ارزان

۲- غیر مخرب: باعث شکست یا تغییر شکل پلاستیک ماده نمی شود و تنها یک تغییر شکل کوچک ایجاد می کند

۳- استحکام کششی را می توان از روی عدد سختی تخمین زد

6

روش های سختی سنجی ۲ نوع اند

الف- کیفی: عدد سختی بطور تقریبی تعیین می شود مانند موس (Mohs)

ب- کمی: عدد سختی دقیقا تعیین می شود مثل راکول، برینل، ویکرز، نوپ .....

موس

- این روش توسط موس، زمین شناس معروف، بنیان شد. در این روش ۱۰ کانی استاندارد معرفی گردید. کانی ها بر اساس قابلیت خراش دادن روی یکدیگر طبقه بندی شدند.

طبق جدول تالک نرمترین کانی با سختی موس ۱ و الماس سخت ترین کانی با سختی ۱۰ انتخاب شد.

* نیازی به حفظ کردن جدول نیست

کانی استاندارد	درجه سختی موس
تالک	۱
ژیپس	۲
کلسیت	۳
فلوئوریت	۴
آپاتیت	۵
فلدسپار	۶
کوارتز	۷
توپاز	۸
کوراندوم	۹
الماس	۱۰

- روش کار آن است که توسط کانی های استاندارد روی ماده مجهول یک خط می کشیم. کانی که بتواند روی ماده مجهول خراش بیندازد،

در آن صورت سختی ماده مجهول بین کانی خراش انداخته و کانی نرم تر قبلی است. به این ترتیب عدد سختی بطور تقریبی بدست می آید

9

- مزیت موس سهولت آن و دید سریعی است که به کارشناس می دهد. (در بین زمین شناسان رایج اما استفاده عملی در مهندسی ندارد)
- معایب موس:

الف- تقریبی بودن عدد سختی

ب- عدم یکنواختی بین مقیاس ها: بین تالک- ژیپس و کوراندوم- الماس ۱ اختلاف سختی وجود دارد اما با روش های دقیق تر سختی سنجی اختلاف کوراندوم- الماس خیلی بیشتر از تالک- ژیپس

- مقیاس موس برای فلزات مناسب نیست (به دلیل معایب فوق)

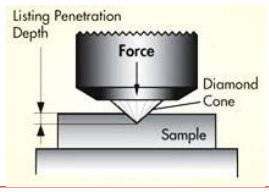
سختی موس بیشتر فلزات در محدوده ۴ تا ۸

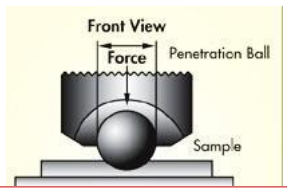
10

روش های کمی سختی

در این حالت از یک فرورونده (Indenter) کوچک استفاده می شود که روی سطح نمونه قرار می گیرد و تحت نیرو و زمان مشخص اعمال نیرو می کند. سپس فرورونده بالا می رود و عمق یا قطر اثر اندازه گرفته می شود و به عدد سختی نسبت داده می شود. بطور کلی هر چه جای اثر بزرگ تر، ماده نرم تر و عدد سختی آن کمتر و بر عکس.

در ادامه راکول، برینل، ویکرز و نوپ به اختصار شرح داده می شود





11

نکات سختی سنجی

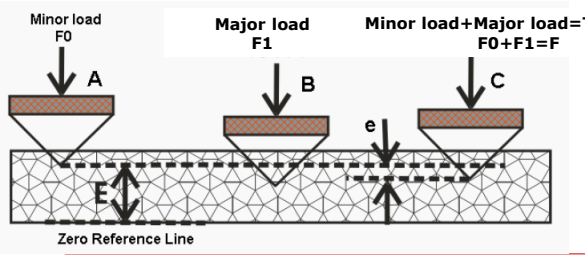
- ضخامت نمونه باید حداقل ۱۰ برابر عمق فرورفتگی باشد، در غیر این صورت سختی دقیق نخواهد بود و ممکن است سختی از سطح زیر بگیرد (حداقل ضخامت برای ماده در نظر گرفته شود)
- به فاصله نزدیک به هم نباید سختی سنجی کنید به عبارتی فاصله بین اندازه گیری ها باید ۵-۳ برابر قطر اثر
- سطح نمونه باید مسطح، تمیز، خشک و عاری از آلودگی باشد
- سطح نمونه نسبت به فرورونده باید عمود باشد

12

راکول (Rockwell)

متداول ترین روش کمی ، که برای فلزات و برخی از پلیمرها کاربرد دارد.

آقای راکول پیشنهاد کردند چون سطح فلزات با یک لایه شامل اکسید، چربی و آلودگی پوشانده شده است، ابتدا یک نیرو یا بار اولیه اعمال می گردد تا این لایه از بین برود و سپس نیروی اصلی وارد میشود. هدف از بار اولیه افزایش دقت در تعیین عدد سختی است. در راکول اختلاف عمق اثر(e) حاصل از بار اولیه و بار اصلی را به عدد سختی نسبت می دهند

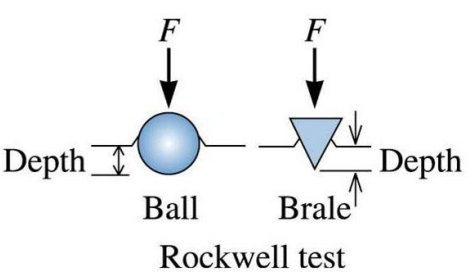


* در شکل **F0** بار اولیه و **F1** بار اصلی

13

☐انواع فرورونده: الف- ساچمه **(Ball)**: از جنس فولاد سخت شده، به قطرهای $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ اینچ

☐ب- مخروط **(Cone)**: از جنس الماس مصنوعی، زاویه راس مخروط ۱۲۰° ، برای سختی سنجی مواد سخت تر (این نوع فرورونده به مخروط الماسی معروف)



☐دندانه = **Brale**

دندانه در روش راکول به شکل مخروط

14

راکول به ۲ دسته تقسیم می شود

- ۱- راکول: بار اولیه $^{10\ Kgf}$ ، بار اصلی $^{60,100,\ 150\ Kgf}$

بسته به بار اصلی و نوع فرورونده، راکول به انواع یا مقیاس های زیر تقسیم

RA, RB, RC, RD, RE, RF, RG, RH,RK

^{RC} برای مواد سخت، ^{RB} برای مواد نرم و ^{RA} برای مواد نرم تا سخت استفاده می شود. این ۳ مقیاس متداول ترند

- ۲- راکول سطحی: برای نمونه های نازک، بار اولیه $^{3\ Kgf}$ ، بار اصلی $^{15,\ 30,\ 45\ Kgf}$ ، بسته به بار اصلی و نوع فرورونده، راکول سطحی به مقیاس هایی تقسیم میشود

15

- عدد سختی در مقیاس راکول تا ۱۳۰ معتبر
- البته مقادیر بیش از ۱۰۰ و کمتر از ۲۰ دقیق نیستند و بهتر است از مقیاس دیگر سختی سنجی استفاده کرد

- مزیت راکول آن است که دستگاه در طی چند ثانیه ، مستقیما عدد سختی را می دهد و اپراتور نیازی به اندازه گرفتن عمق اثر ندارد

- عدد سختی راکول = Rockwell hardness number or RHN

16

برینل (Brinell)

- فرورونده ساچمه به قطر mm ۱۰، جنس آن از فولاد سخت شده و یا کاربید تنگستن (برای سختی سنجی مواد سخت تر)، زمان اعمال نیرو s ۳۰-۱۰ ، بار اعمالی در محدوده Kgf ۳۰۰۰-۵۰۰ (با افزایش ۵۰۰ ، یعنی بارهای مجاز عبارتند از ۳۰۰۰، ۲۵۰۰، ..... ، ۱۰۰۰، ۵۰۰)

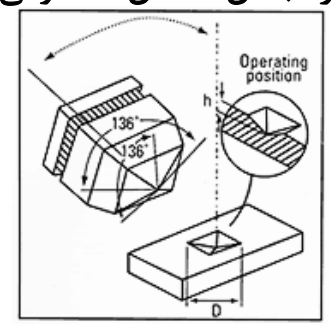
- اپراتور قطر اثر را با میکروسکوپ بزگنمایی کم می خواند و با استفاده از جدول برای نیرو اعمالی و قطر اثر ، عدد سختی برینل خوانده می شود. برینل برای مواد نرم تا سخت کاربرد دارد.
  - عدد سختی برینل=Brinell Hardness Number or BHN

- خطای اپراتور در اندازه گیری قطر اثر، روی عدد سختی اثر می گذارد

17

ویکرز و نوپ (Vickers and Knoop)

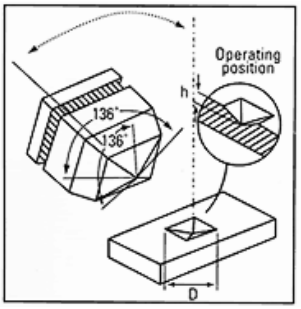
گاهی هدف سختی سنجی یک دانه، یک فاز، یک رسوب یا ناخالصی است. به این نوع سختی سنجی، ریزسختی سنجی (Microhardness) گفته می شود و به ۲ روش ویکرز و نوپ امکان پذیر است. دستگاه های ویکرز و نوپ در واقع یک میکروسکوپ هستند که طبق شکل دارای یک فرورونده بسیار کوچک به شکل هرم مربع القاعده و از جنس الماس مصنوعی هستند (الماس هرمی).



- بار اعمالی بین ۱۰۰۰-۱ گرم
- قطر اثر در زیر میکروسکوپ اندازه گیری و به عدد سختی تبدیل می شود. در دستگاه های

18

قدیمی با استفاده از جدول بر اساس نیروی اعمالی و قطر اثر عدد سختی تعیین می شد، اما در دستگاه های دیجیتالی بعد از اندازه گیری قطر اثر، با زدن یک دکمه عدد سختی توسط دستگاه گزارش می شود



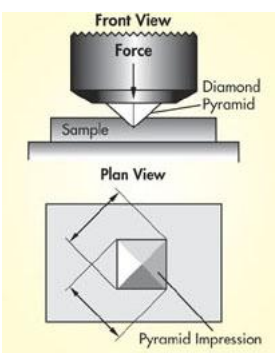
- در ویکرز زاویه بین ۲ وجه روبرو فرورونده ۱۳۶ °
- برای ریزسختی سنجی باید ابتدا سطح نمونه مراحل سنباده زنی، پولیش و اچ را گذرانده باشد

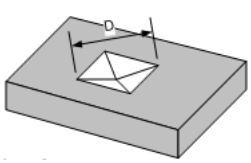
- عدد سختی ویکرز = Vickers Hardness Number or VHN
- عدد سختی نوپ = Knoop Hardness Number or KHN

19

- روش ویکرز برای آلیاژها و نوپ برای سرامیکها

- شکل ها جای اثر ویکرز را نشان می دهد. برای افزایش دقت می توان قطر را در ۲ جهت عمود بر هم اندازه گیری کرد





20

- عکس یک دستگاه ریزسختی ویکرز

(Vickers microhardness tester)

21

تبدیل سختی ها

- گاهی می خواهیم بدانیم سختی در یک مقیاس، در مقیاس های دیگر چقدر است. برای این منظور روابط تجربی ارائه شده است و بعلاوه برای بعضی از فلزات جدول های وجود دارد.

- در ابتدای مبحث سختی گفته شد می توان از روی عدد سختی، استحکام نهایی را تخمین زد. برای فولادها از روابط تقریبی زیر می توان استفاده کرد

$$TS(MPa) = 3.45 \times BHN$$

$$TS(Psi) = 500 \times BHN$$

- * در روابط بالا σ_u=TS و سختی باید برینل باشد

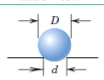
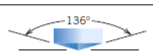
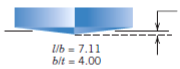
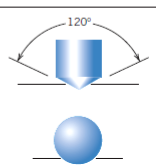
22

- روش های مانند راکول، برینل .... را ماکروسختی سنجی می گویند
- از مبحث ۶-۹ تا آخر فصل ۶ حذف است
- اسلاید بعد اطلاعاتی در مورد روشهای سختی سنجی می دهد (نیازی به مطالعه آن نیست)

23

Hardness: Measurement

Hardness-Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation: Side View	Shape of Indentation: Top View	Load	Formula for Hardness Number[a]
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone; $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres			60 kg, 100 kg, 150 kg: Rockwell 15 kg, 30 kg, 45 kg: Superficial Rockwell	

24