موضوع: _____ تاریخ: جلسه ۵

خواص مکانیکی مواد

(جلسه ۵)

انواع بارگذاری برای یک نمونه:

۱. کشش ۲. فشاری ۳. خمشی

۴. برشی ۵. پیچشی ۶. ترکیب قبلی ها

یادآوری: خواص مکانیکی مواد عبارت است از رفتار یک ماده وقتی که تحت بارگذاری قرار می گیرد

علاوه بر بارگذاری کشش و فشار، قطعات مهندسی ممکن است که تحت خمش، برش و پیچش نیز قرار بگیرند و این ما را متعجب نکند و همانطور که استانداردهایی برای آزمون های کشش و فشار بود برای خمش و ... نیز است.

آزمون های مکانیکی:
- محوری (Axial): کشش - فشار
- غیرمحوری (non Axial): خمش - برش - پیچش

آزمون فشار: همان اطلاعاتی که از آزمون کشش بدست میاد شکل نمونه در این آزمون بصورت یک استوانه است که طول آن نسبت به قطرش بین 1.5 تا 2 است

Persian Paper Co.

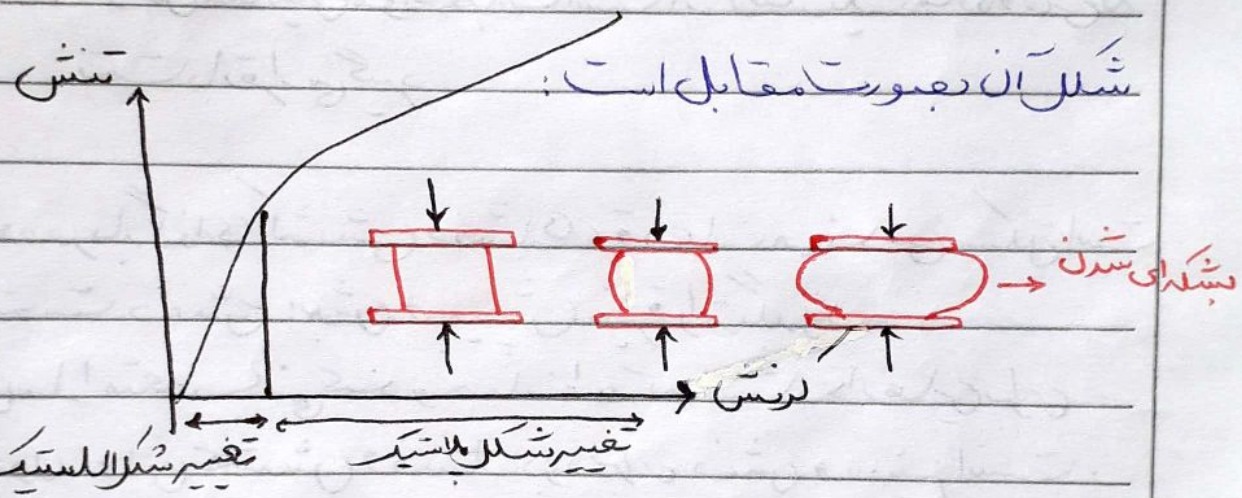
Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

توجه: اصطکاک بین نمونه و فک های دستگاه باید تا حد امکان کاهش داد

در حالت ایده آل، منحنی تنش-کرنش حقیقی از یک آزمون فشار که به درستی انجام شده باید مطابق با آن آزمون باشد که از کشش به دست آمده است.

شکل آن به صورت مقابل است:



یکی از مزیت هایی که آزمون فشار دارد این است که آن عمل necking و ناپایداری ای که در necking اتفاق می افتد را شاهد نیستیم. بنابراین می توانیم کرنش های پلاستیک بیشتری را شاهد باشیم.

این البته می تواند عیب نیز باشد. اگر رفتار necking و شکست بر اثر کشش برای ما مهم باشد.

ASTM E9-09 استانداردی است که برای تست فشار مواد

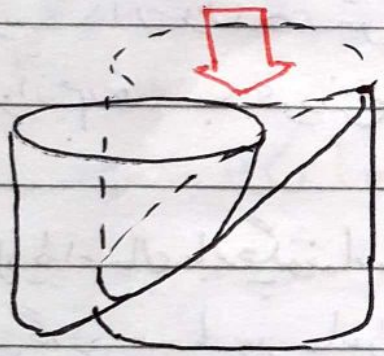
Parsian Paper Co.

Scanned with CamScanner

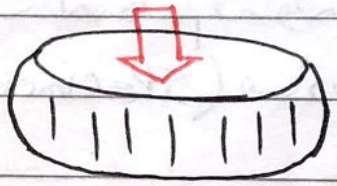
فلزی در دمای اتاق تعیین می‌شود.

نکته سوم: فرآیند شکل‌دهی طی تست فشار برای مواد Ductile (نرم) اتفاق می‌افتد و برای مواد Brittle (ترد) ترک در زاویه ۴۵° داده و سپس شکست از همان ناحیه را داریم.

بنابراین افزایش سطح مقطع را فقط و فقط در مواد "نرم" شاهد هستیم نه ترد.

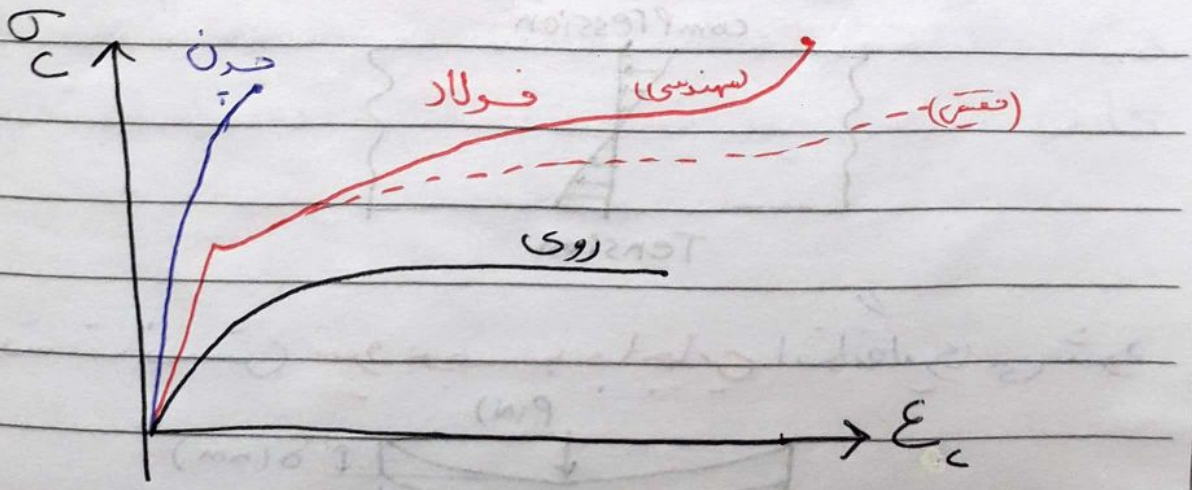


Brittle



Ductile

منحنی تنش - کرنش آزمون فشار مواد مختلف:



Paralon Paper Co.

Scanned with CamScanner

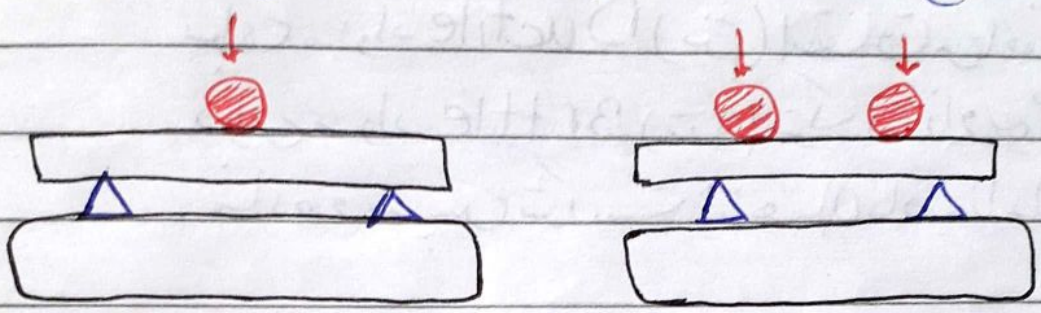
تاریخ:

موضوع:

آزمون های غیرمحوری

آزمون خمش (Bending test):

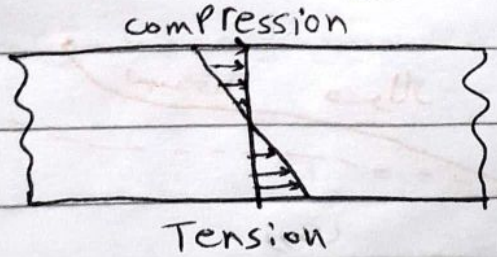
شامل ۲ نوع آزمون است (سه نقطه ای و چهار نقطه ای)



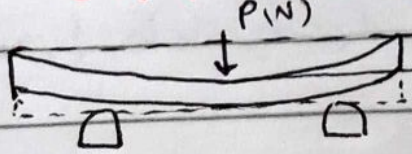
۴ نقطه ای ۳ نقطه ای

مزیت آزمون خمش در این است که هم نمونه ما ده هم لوازم نصب کردنش (Specimen & fixture) ساده اند

شرایط اعمال بار چگونه است؟ هنگامیکه ماده ای تحت خمش قرار می گیرد سطوح پایین تر تحت کشش اند و سطوح بالاتر تحت فشار بدین صورت که هر چه از بالا به پایین تر آییم فشار کم شده و کشش بیشتر می شود.

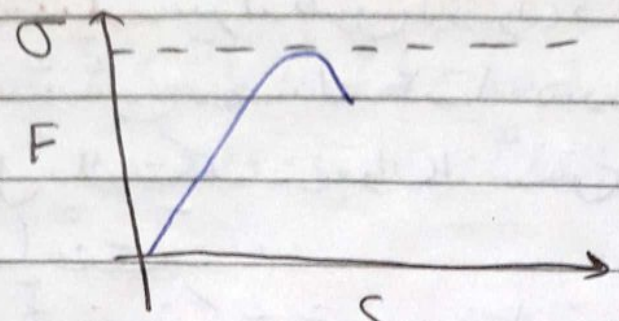


در تست خمش نیرو برحسب جابجایی اندازه گیری می شود

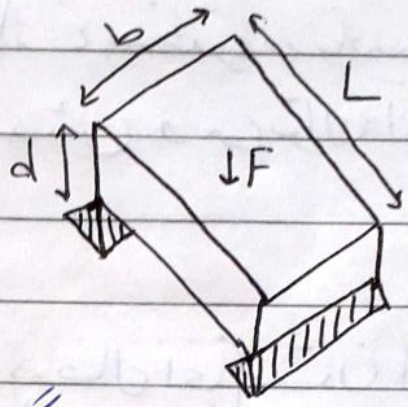


Parsian Paper Co.

Scanned with CamScanner



$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2}$$



اگرچه که آزمون خمش گزینه‌ای است برای فلزات و پلیمرها اما بیشتر برای تعیین خواص الاستیک و شکنندگی استحکامی سرامیک‌ها و شیشه‌ها بکار می‌رود.

چرا؟ دلیل آن این است که آزمون خمش بسیار ساده است گفتیم که نمونه‌ای که می‌خواهیم نیز ساده است و تهیه یک نمونه ساده از مواد سرامیکی و شیشه‌ای خیلی راحت‌تر از تهیه یک نمونه پیچیده از آنها. (با توجه به ترد بودن آنها) اما در آزمون کشش چون هندسه نمونه پیچیده است پس خیلی کاربردی نیست. چون تهیه نمونه پیچیده دشوار است.

Persian Paper Co.

Scanned with CamScanner

تاریخ:

موضوع:

مدول الاستیک نیز از طریق آزمون خمش می‌توان بدست آورد. در تنشی معادل ۲۵ تا ۵۰ درصد تنش لازم برای تغییر شکل پلاستیک می‌توان از تنش برگشتی در ناحیه الاستیک مدول را یافت.

همانند آزمون کشش و فشار، منحنی در ناحیه الاستیک بصورت خطی است در آزمون خمش و می‌توان از این ناحیه مدول را یافت.

اگر ماده‌ای که تست خمش روی آن در حال انجام شدن است نرم (Ductile) باشد می‌توان "تنش تسلیم خمشی" را که تقریباً برابر است با تنش تسلیم را بدست آوریم.

تنش تسلیم خمشی: حداقل تنش لازم برای کرنش پلاستیک خیلی کوچک (۰/۱ درصد) را تنش تسلیم خمشی گوئیم.

حال اگر ماده ما بسیار سرامیک ترد باشد تنش تسلیم معنا ندارد و در واقع همان "تنش شکست" است و به آن "استحکام خمشی" گویند.

Scanned with CamScanner

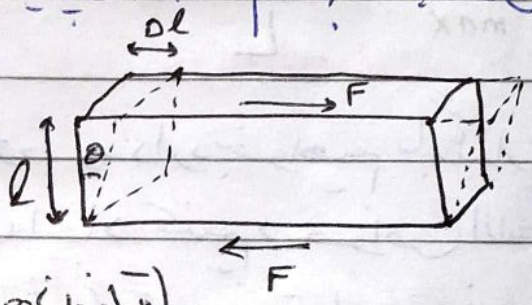
آزمون برش (shear)

تعریف: اعمال بارهایی که در جهات مختلف "در" دو سطح موازی "نمونه مان" وارد می شود

هر چند که جابجایی اتفاق می افتد بین دو سطح موازی نسبت به هم جابجایی شوند، دو سطح موازی باقی می مانند ولی نسبت به هم shift پیدا می کنند.

تنش برشی (τ) = $\frac{F}{A}$

کرنش برشی (γ) = $\frac{\Delta l}{l}$



$\tau = G\gamma$ (قانون هوک برای برش)

آزمون پیچش (Torsion)

تعریف: اعمال یک نیرو گشتاوری بر یک نمونه تحت محور مشخص.

بارگذاری پیچشی باعث ایجاد تنش ها و کرنش های برشی است و این تنش های برشی از صفر تا ماکزیمم در داخل سطح نمونه مان تغییر می کند

اگر T گشتاور، r فاصله از محور شفت و ϕ زاویه پیچش و ما ممان اینرسی قطبی باشد تنش برشی عبارتست از:

$$\tau = \frac{Tr}{I_p}$$

Paralen Paper Co.

Scanned with CamScanner

تاریخ:

موضوع:

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32}$$ (شفت توپر)

$$I_p = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32}$$ (شفت توخالی)

D: قطر خارجی شفت و d قطر داخلی شفت

$$\frac{V}{max} = \frac{r\phi}{L}$$

قبل از شروع به دلیل مشکلاتی که وجود دارد نخواهیم بارگذاری برشی خالص را در نمونه مان ایجاد کنیم و حوامل الاستیک برشی را بیابیم (در آزمون برش) کار سخت است زیرا شود و یکی از کاربردهای آزمون پیچش این است که می‌توان "مدول برشی" را با آن بدست آورد.

$$G = \frac{TL}{I_p \phi}$$

نمونه ما در این آزمون همانند نمونه ما در آزمون کشش است

اینکه رفتار ماده تحت تنش پیچشی به چه شکلی است و چند دور را می‌تواند تحمل کند و... از کاربردهای این آزمون است (مثل کاربرد فلزات در کمرسنبه ماشین)

Parsian Paper Co.

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: جلسه ۶

آزمون سختی (Hardness test)

تعریف سختی: معیاری است از "مقاومت ماده به تغییر شکل پلاستیک موضعی که یا فرورندگی یا خراش ایجاد می کند"

آزمون‌های سختی:
- خراش (scratch)
- برگشت (Rebound) وقتی جسمی به جسم دیگر می خورد چقدر بازی گردد
- فرورندگی (indentation)

آزمون خراش (scratch):

اسکیل Moh's: تقسیم بندی کلی است از مواد نسبت به سطح شان. که یک جدول است.

اساس این جدول این است که "ماده‌ای می تواند روی سطح ماده دیگر خراش ایجاد کند".

تو جدول Moh هر ماده‌ای که بالاتر قرار دارد (عدد بیشتری دارد) می تواند روی ماده پایینی خود خط (خراش) بیندازد.

به طور کلی یک اسکیل کیفی است نه کمی.

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

آزمون Rebound

اینگونه است که گلوله‌ای از یک ارتفاعی رها می‌شود و به سطح ماده مابرخورد می‌کند و انرژی پتانسیل را به ماده منتقل می‌کند و باعث ایجاد یک تغییر شکل در ماده می‌شود حال می‌تواند این تغییر شکل الاستیک باشد یا الاستیک + پلاستیک باشد.

اینکه گلوله بعد از برخورد به سطح ماده تا چه ارتفاعی بالا بیاید بستگی به تغییر شکلی دارد که درون سطح ماده ایجاد می‌شود.

هرچه ماده سخت‌تر باشد، ارتفاع بیشتری بالا می‌آید و هرچه ماده نرم‌تر باشد، ارتفاع کمتری بالا می‌آید چون انرژی را سطح جذب می‌کند.

ماده سخت‌تر ← تغییر شکل پلاستیک کمتر ← اتلاف انرژی کمتر ← برگشت بیشتر

این آزمون نیز بیشتر کیفی است.

آزمون Indentation (فرورونده)

۳ نوع اند: ۱. Brinell ۲. vickers ۳. Rockwell

۱. Brinell: معمولاً یک فرو رونده کروی وارد جسم می‌شود تحت یک load ای قرار می‌گیرد و یک سطح اثر کروی شکل ایجاد می‌کند.

حال اگر سطح ما نسبت به load ای که به آن وارد می‌شود تغییر شکل پلاستیک نشان دهد سطح اثری خواهیم داشت و در غیر اینصورت سطح اثر نخواهیم داشت.

Parsian Paper Co.

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

عمق فرورفتگی (d) به سختی سطح بستگی دارد. اگر خیلی سخت باشد کم و اگر سخت نباشد زیاد است.

در این آزمون ما یک کره فولادی با قطر 10mm indentor است که بار اعمال روی آن 3 kgf (29.42 kN) است.
اگر ماده نرم تر باشد بار اعمالی روی آن کمتر است و اگر ماده سخت تر باشد از indentor که جنس آن کاربید تنگستن است استفاده می شود

نکته: همواره باید سختی indentor خیلی بیشتر از ماده باشد.
(چرا؟) برای اینکه بخواهیم کمترین خطایی در این آزمون داشته باشیم باید تغییری شکلی در indentor اتفاق نیفتد

معمولاً زمان اعمال بار حدود ۳۰ ثانیه است و بعد از برداشت بار عمق اثر را با میکروسکوپ با بزرگنمایی کم بررسی می کنیم

(BHN) مخفف Brinell hardness numbel است و از تقسیم بار بر سطح تماس واقعی بدست می آید.

سطح تماس واقعی در برینل در واقع یک عرق چین (بیم کره) است.

$$BHN = \frac{P}{\pi D t}$$

واحد: (MPa) بار اعمالی — عمق فرورفتگی — قطر indentor

Persian Paper Co.

Scanned with CamScanner

همواره عدد سختی در شرایط مختلف ثابت است. برای اینکه BHN برای بارگذاری های مختلف یا indentor با هندسه متفاوت لازم است که $\frac{P}{D^2}$ ثابت باشد تا عدد سختی ثابتی را به ما نشان دهد. لذا داریم:

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2}$$

آزمون Brinell نسبت به سایر آزمون های سختی کمتر نسبت به خراش و ناهمواری حساس است چون قطر اثری که در آزمون Brinell ایجاد می شود قطر اثر بزرگی است

اینکه قطر اثر بزرگی ایجاد می کند دارای مزایا و معایبی است مثلاً گاهی اوقات می خواهیم قطعه ای که در سرویس است را با روش انجام دهیم حال اگر قطر اثر بزرگی ایجاد شود باعث تخریب قطعه، تمرکز تنش، خستگی و بطور کلی از دست رفتن شکل اولیه قطعه می شود که این عیب است اما وقتی سطح اثر بزرگتر باشد، بخش بیشتری از ماده را بررسی کردیم و این باعث میشود تا رفتار ماده را بتوانیم بهتر بررسی کنیم (بخش بیشتری از تغییر شکل پلاستیک را بررسی کردیم)

Persian Paper Co.

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

آزمون Meyer

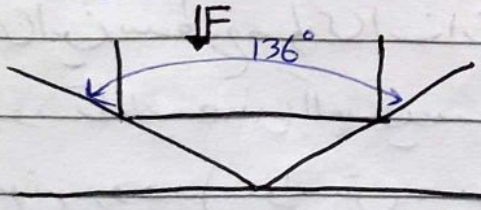
بسیار شبیه به Brinell است با این تفاوت که در Brinell بار بر سطح اثر واقعی که عرق چین است تقسیم می‌شود ولی در Meyer سطح اثر ما "سطح تصویر شده" است یعنی، و چین را در فضای دو بعدی تصویر می‌کنیم و یک "دایره" خواهیم داشت. پس در Meyer، Projected area را خواهیم داشت.

$$P_m = \text{Meyer hardness} = \frac{4P}{\pi d^2}$$ (قطر سطح اثر) d

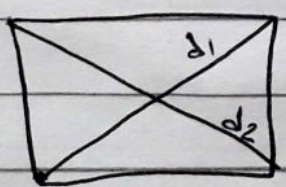
یک مزیت آزمون Meyer این است به بار اعمالی به خصوص در مقایسه با آزمون Brinell کمتر حساس است.

آزمون Vickers (VHN)*

بسیار پرکاربرد است. indentor ما یک هرم است که قاعده مربع شکل دارد ولی سر آن مهار وجهی است و زاویه بین وجوه مقابل آن 136° است:



سطح اثر ما در این آزمون (از نمایا) یک مربع خواهد بود.
نام دیگر این آزمون Diamond Pyramid hardness test (DPH) است.



Persian Paper Co.

Scanned with CamScanner

تاریخ:

موضوع:

روابطی که موجود است عبارتند از:

$$VHN \text{ or } DPH = \frac{2P\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \quad *$$

(تقریبی)

P: بار اعمالی

L: متوسط قطر مربع $= (d_1 + d_2)/2$

θ: 136°

آزمون Vickers بسیار مورد علاقه است برای "تحقیقات"

• رنج زیادی از سختی را می‌توان با آن آزمود از 5 الی 1500 DPH

(نرم) (سخت)

• تقریباً DPH مستقل از بار اعمالی است

• بار اعمالی 1-120kg است بستگی به سختی ماده دارد

• استاندارد آن E 92 است (ASTM E92) هم برای ویکرز و هم برای نوپ (knoop)

• برای این آزمون آماده‌سازی نمونه سطح ما باید بصورت زیر باشد: باید دو سطح موازی داشته باشیم و ما سختی را روی این سطوح موازی اندازه بگیریم. سطح باید خوب پولیش شود تا لایه‌های اکسید سطحی و ناهمواری‌های آن خوب از بین برود. (پولیش = سمباده زنی)

Parsian Paper Co.

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

* آزمون Rockwell

این آزمون در صنعت آمریکا زیاد کاربرد دارد. تفاوتی که با Brinell و Vickers دارد این است که ما در دو تای قبلی "قطر اثر" را اندازه می گرفتیم اما در Rockwell "عمق اثر" را اندازه می گیریم پس هرچه عمق اثر بیشتر باشد سختی آن کمتر است.

روش انجام آزمون: ابتدا یک بار 10kg را روی indentor اعمال می کنند (قبل آن یک مرحله ای داریم به اسم Preload که مقداری load به indentor وارد می شود تا خوب روی سطح قرار گیرد و بر ناهمواری ها غلبه کند) که به آن additional load گوییم و باعث می شود که indentor در ماده فرو رود تا یک عمق h_1 که این عمق از یک الاستیک و یک پلاستیک تشکیل شده حال اگر additional را بردارم و فقط Preload بماند می بینم که آن تغییر شکل الاستیک باز می گردد و فقط پلاستیک می ماند h

عدد سختی را کل با پسوندهای HRA، HRB، HRC و... HR ارائه می شود که A، B و... بیانگر شرایط انجام آزمایش است (شکل indentor - مقدار load)

$$HR = N - \frac{h}{S}$$

N ثابت — عمق فرورفتگی — S ثابت

Persian Paper Co.

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

هر اسکیلی هم در یک رنج معتبر است

R_B : 0 — 100

R_C : 20 — 70

Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: جلسه ۷

نکات مهم در مورد آزمون سختی indentation

۱. indentor و قسمتی از دستگاه که نمونه روی آن قرار می‌گیرد (anvil) باید تمیز باشد و نمونه به خوبی روی anvil سوار شده باشد.

۲. سطحی که می‌خواهیم سختی‌اش را اندازه بگیریم باید تمیز و خشک باشد، صاف باشد و روغن آلوده نباشد. به همین خاطر از سنباده زنی استفاده می‌کنیم.

۳. سطح نمونه ما باید صاف باشد و عمود بر indentor باشد. دو سطحی که درست استفاده می‌شوند باید کاملاً موازی هم باشند (دو سطحی که یکی روی anvil قرار می‌گیرد و دیگری روی فرورونده) تا بدون خطا نتیجه بدست آید. ما در مورد نمونه‌هایی صحبت می‌کنیم که سطح نمونه برای استفاده کاملاً مورب است.

۴. ضخامت نمونه باید به اندازه کافی باشد (حد کافی یعنی اینکه وقتی از نمونه‌مان تست سختی می‌گیریم در پشت نمونه نشانه‌ای از تغییر شکل پلاستیک یا فرورونده نبینیم) معمولاً پیشنهاد بدین منظور ضخامت نمونه ۱۰ برابر عمق فرورونده اختیار شود.

۵. بطور کلی ضخامت نمونه‌های متداول بین ۱ تا ۵ میلی‌متر است.

علاوه بر ضخامت مشخصه هندسی دیگر این است که فاصله بین نقاطی که سختی می‌گیریم باید کافی باشد (یعنی خیلی نزدیک

Persian Peper Co.

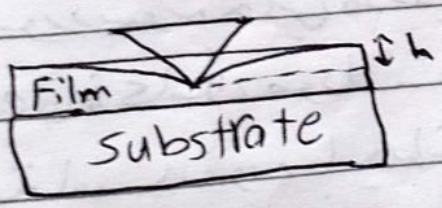
Scanned with CamScanner

موضوع: _____ تاریخ: _____

به نقاط سختی قبلی که اندازه گرفتیم نباشه فاصله‌هایمان بین آنها باشد) چون زیر نانو سختی یا الماسش یک ناحیه کروی شکل تغییر شکل پلاستیک دارد که نباید در اینجا ها باشد گرفت معمولاً فاصله مناسب بین ۳ تا ۵ برابر عمق (قطر) اثر سختی است.

میکروسختی (Microhardness test)

فرض کنید که یک فیلم عکاسی روی یک فلزی قرار دارد و ما می‌خواهیم سختی فیلم را اندازه بگیریم اگر از روش ماکرو سختی که در جلسات پیش بیان شد استفاده کنیم قطر اثر زیاد است و به لایه‌ی زیرین که فلز باشه سرایت می‌کند که نباید بکند لذا از میکرو سختی استفاده می‌کنیم.



آزمون‌های indentation

- ماکروسختی (با اعمال بیشتر از ۱kg)
- میکروسختی (با اعمال کمتر از ۱kg)
  - Vickers
  - knoop

Scanned with CamScanner

تعریف آزمون میکروسختی: آزمون های سختی indentation ای که بار اعمالی در آنها کمتر از 1kg است یا آزمون های indentation ای که عمق فرورفتگی کمتر از 70-100 μm است. کاربرد آن برای فیلم های نازک، برای نواحی کوچک برای تعیین فازهای مشخص و...

• هرچه قطر اثر سختی کوچکتر باشد جسم در آن نقاط سخت تر خواهد بود.

آزمون سختی knoop

سطح اثری که ایجاد می کند یک لوزی است که یکی از قطرهای آن از قطر دیگر بزرگتر است.

از این آزمون برای سختی سنجی مواد ترد یا لایه های نازک استفاده می شود. indenter ما به شکل هرم است بر روی سطح پولیش شده ما فشرده می شود و بعد یک زنان معلومی سطح اثر ایجاد شده را اندازه گیری می کنیم و عدد سختی را پیدا می کنیم.

نسبت قطر بزرگ به کوچک ۷ به ۱ است

$$KHN = \frac{P}{A_p} = \frac{P}{L^2 C}$$

A_p: Projected area

L: قطر بزرگ

C: ثابت (با توجه به فرورونده)

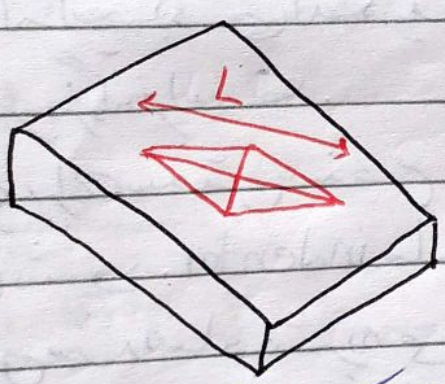
Parsian Peper Co.

Scanned with CamScanner

موضوع:

مزیت آزمون knoop نسبت به Vickers و سایرین این است که اگر یک سطح اثر knoop را در نظر بگیریم که طول بزرگ آن به اندازه a باشد و یک سطح اثر مشابه را در Vickers در نظر بگیریم عمق و مساحت سطح اثری که indentation ایجاد می کند در knoop، ۱۵٪ عمق و مساحت سطح اثری است که در Vickers ایجاد می کند که این کوچک تر بودن عمق و مساحت در لایه های نازک و مواد ترد هنگامیکه سختی سنجی صورت می گیرد مزیت است

پس knoop به خصوص در مواد خیلی ترد یا لایه های نازک بکار میرود.



Load F (1 – 1000 gf force)

بار اعمالی در Vickers وقتی که ماکرو باشد 1-120 kgf و وقتی که میکرو باشد 1000gf – 1 است. ماکرو برای لایه ها بالک است ولی میکرو برای لایه های نازک است.

میکروسختی را باید با دقت بیشتری انجام داد چون همه چیز کوچک شده است احتمال خطا افزایش پیدا کرده است و نیز به کیفیت سطحی بیشتری نیاز میدهیم

Paralen Paper Co.

Scanned with CamScanner