

# کاربرد روش های سختی سنجی میکروهاردنس



شرکت کوپا پژوهش تولیدکننده تجهیزات آزمون خواص مکانیکی مواد

(انواع سختی سنج و تست کشش یونیورسال)

[WWW.KOOPACO.COM](http://WWW.KOOPACO.COM)

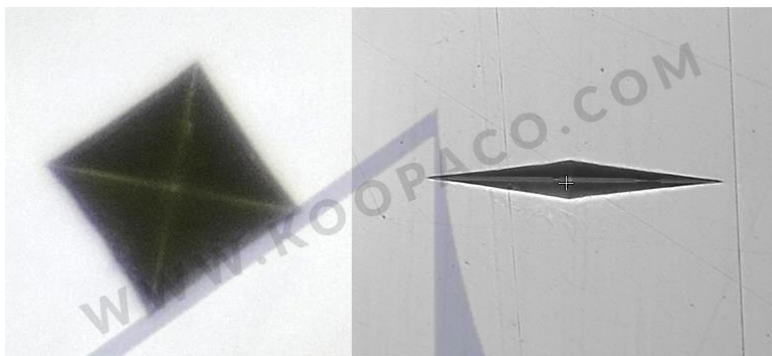
## میکروسختی سنجی

آزمایش میکروسختی سنجی یا به عبارت صحیح تر Micro indentation Hardness، یکی از روش‌های سختی سنجی است که به طور گسترده‌ای، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از مثال‌های رایج میکرو سختی میتوان به سختی سنجی ناحیه‌ای بسیار کوچک، بدست آوردن سختی یک پوشش گالوانیزه، تعیین سختی رزوه‌های یک پیچ کوچک، سختی سنجی یک فاز میکروسکوپی یا تعیین سختی یک چرخنده نازک ساعت اشاره کرد.

برخی از کاربرد‌های ویژه میکرو سختی سنج عبارتند از [۱]:

- اندازه‌گیری سختی مواد بسیار نازک مانند یک فویل نازک یا سیم خیلی نازک که با روش‌های دیگر سختی سنجی، اندازه‌گیری سختی ممکن نیست.
  - نظارت بر عملیات کربن‌دهی یا نیتروژن‌دهی و یا سایر عملیات بهینه‌سازی، با رسم گراف سختی در یک برش از سطح موردنظر.
  - اندازه‌گیری سختی میکروساختارهای مجزا.
  - اندازه‌گیری سختی لبه یک قطعه برای تشخیص شرایطی مانند کربن‌زدایی و ...
  - اندازه‌گیری سختی لایه‌های سطحی، از قبیل لایه‌های پوششی آندودکاری و یا پوشش‌های چندلایه.
- آزمون میکروسختی سنجی به دو روش **ویکرز** و **نوپ** انجام می‌شود. یکی از متداول‌ترین استانداردهای این دو آزمون، ASTM E 384 است. استاندارد ASTM C 730 روش سختی سنجی شیشه را با نوپ بیان می‌کند. اصول روش آزمایش **میکرو ویکرز** همانند آزمون **ویکرز** استاندارد است با این تفاوت که نیروهای اعمالی زیر یک کیلوگرم هستند.

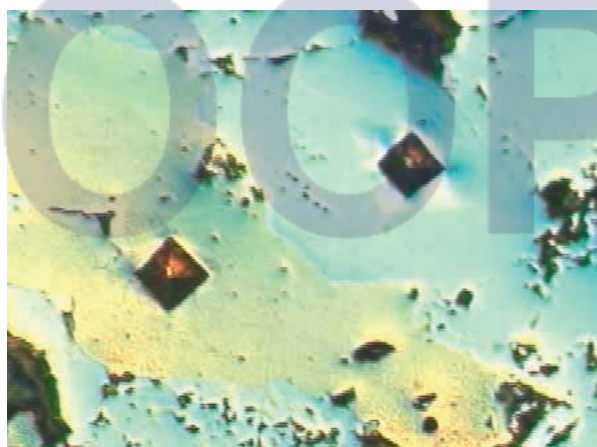


شکل ۱) اثر های ایجاد شده توسط ایندنتور ویکرز(چپ) و نوپ (راست)

### میکرو سختی سنجی به روش ویکرز:

در روش میکرو ویکرز از فرورونده (Indenter) الماسه‌ای که شکل آن به صورت هرمی مربع القاعده با زاویه راس  $136^\circ$  استفاده می‌شود. الماسه با یک نیروی مشخص بر سطح نمونه نفوذ می‌کند و اثری به شکل مربع مستطیل که دارای قطرهای  $d_1$  و  $d_2$  می‌باشد به وجود می‌آورد [۳-۵].

عدد سختی میکرو ویکرز و یا ویکرز (HV) از تقسیم نیرو به سطح اثر (F/A) به دست می‌آید که نیرو بر حسب کیلوگرم نیرو (Kgf) و سطح بر حسب میلی‌متر مربع ( $\text{mm}^2$ ) محاسبه می‌شود. با استفاده از روابط هندسی (با توجه به ابعاد مشخص هرم فرورونده) می‌توان مقدار سطح اثر (A) را به اندازه قطرهای اثر ربط داد، و با این کار به جای سطح اثر می‌توانیم از مقدار متوسط قطرها در فرمول استفاده کنیم. در مقادیر سختی سنجی گزارش شده حتماً باید مقدار نیرو را در گزارش عدد سختی ذکر کنیم. به عنوان مثال HV0.3 یا HV0.5 به علت اعمال نیروی متفاوت قابل مقایسه نیستند.



شکل ۲) اثر ایجاد شده توسط ایندنتور ویکرز دستگاه میکرو سختی سنج در دو فاز متفاوت

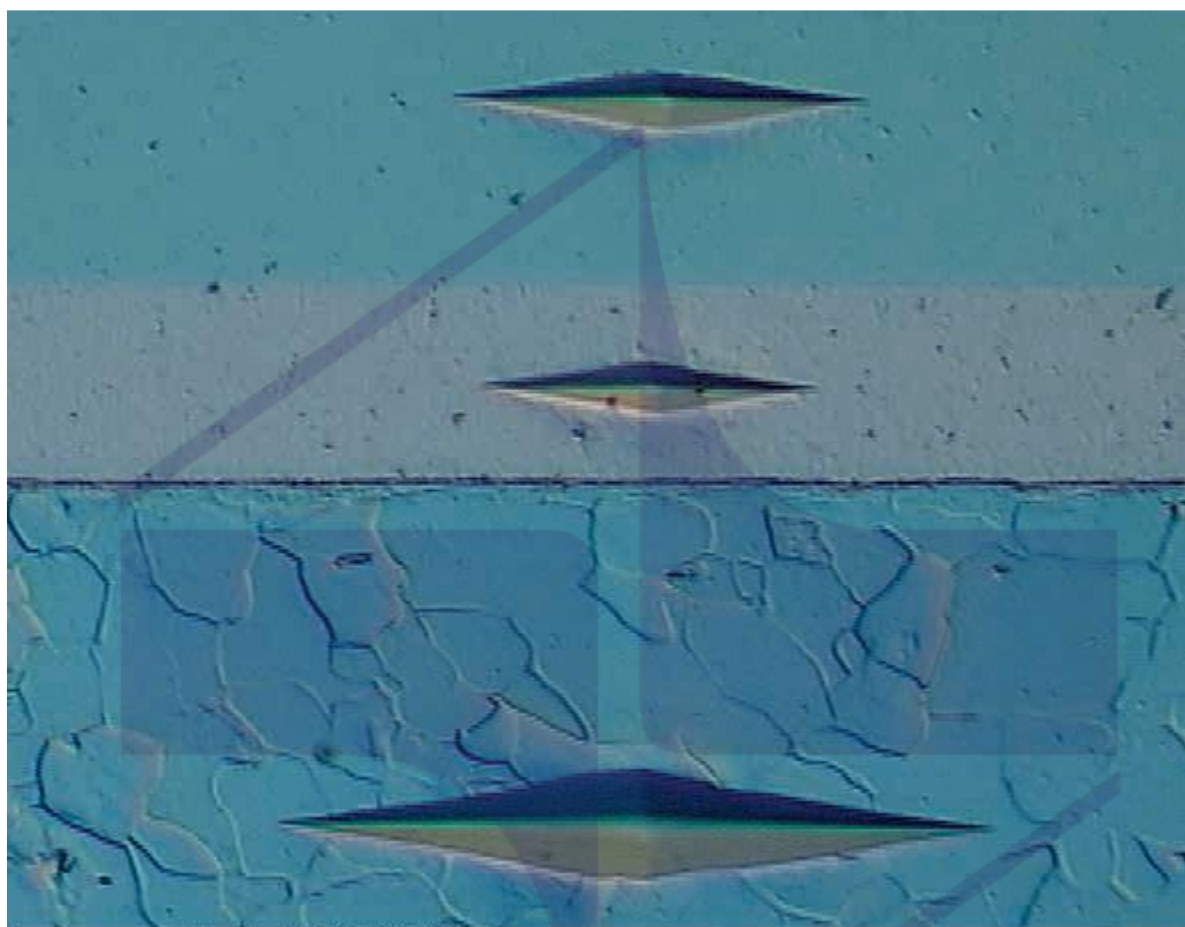
با استفاده از سیستم اپتیک دستگاه میکرو سختی سنج و بزرگنمایی های بالا می‌توان ریزساختار فلز را مشاهده و سختی فازهای موجود در ریزساختار را اندازه گیری نمود. بسیاری از فازها در ریزساختار متالورژیکی از نظر رنگ و شکل فاز شبیه به هم هستند و بهترین راه برای تمایز آن‌ها استفاده از تست میکروسختی سنجی است.

به کمک **ریز سختی سنجی ویکرز** می‌توان اثرهای بسیار ریز بر روی فازها ایجاد کرد که قطر این اثرها در حد میکرون می‌باشد. ابعاد دانه‌ها در فلزات از چند میکرون تا چند ده میکرون می‌باشد که در نتیجه می‌توان با استفاده از تنظیم نیروی مناسب، سطح اثر را به گونه‌ای تنظیم کرد که در داخل فاز مورد نظر قرار بگیرد.

### **میکرو سختی سنجی به روش نوپ:**

روش نوپ (HK) Knoop جایگزینی برای آزمون ویکرز در محدوده میکرو سختی است، و به طور عمده برای غلبه بر ترک خوردن مواد شکننده (به عنوان مثال سرامیک ها) و همچنین برای تسهیل آزمون لایه های نازک از این روش استفاده می‌شود.

این آزمون توسط فردریک نوپ و همکارانش در انجمن ملی استاندارد آمریکا در سال ۱۹۳۹ ابداع شد [۱]. در این روش از یک فرورونده هرمی استفاده می‌شود که قطر بزرگ اثر ایجاد شده توسط آن ۷ برابر قطر کوچکش و در حد سی برابر عمق آن است. سطح اثر فرورونده بر روی نمونه به جای اینکه به شکل مربع مستطیل باشد به صورت یک لوزی ظریف است. زاویه راس‌های هرم در روش نوپ  $30^{\circ}$  و  $172^{\circ}$  است [۳-۵]. امتیاز این نوع فرورونده در مقایسه با فرورونده آزمون میکرو ویکرز، که فرو رفتگی مربعی ایجاد می‌کند، در این است که قطر فرو رفتگی نوپ حدود سه برابر قطر فرو رفتگی ویکرز است و می‌تواند با دقت بیشتری اندازه گیری شود.



شکل ۳) اثر ایندنتور نوپ در سه فاز متفاوت

این روش سختی سنجی برای اندازه گیری سختی ساختارهای میکروسکوپی به کار میرود و برای مواردی که یکی از ابعاد ناحیه مورد آزمایش بزرگتر از بعد دیگر باشد به عنوان مثال برای پوشش های نازک با فاز های کشیده شده بسیار مناسب است. گستره نیروهای مورد استفاده در آزمون نوپ همانند آزمون میکرو ویکرز است. نتایج آزمون سختی نوپ بسیار شبیه نتایج آزمون میکرو ویکرز است با این تفاوت که همواره اعداد نوپ ۲۰ تا ۲۵ واحد بزرگتر از اعداد میکرو ویکرز برای همان ماده هستند.

عدد سختی نوپ نیز مانند عدد سختی ویکرز از تقسیم نیرو بر سطح اثر به دست می آید:

$$\text{Knoop Hardness Number (KHN)} = \frac{F}{A}$$

با توجه به هندسه‌ی هرم فرورونده نوپ می‌توان رابطه بین سطح اثر و قطر بزرگ هرم را پیدا نمود و به جای سطح اثر از طول بزرگترین قطر استفاده کرد. تفاوت بکارگیری دو روش نوپ و میکرو ویکرز در آن است که سختی سنجی نوپ عمدتاً برای موارد ترد و سخت که نیاز به ایندنتور با قابلیت نفوذ بیشتر دارند استفاده می‌شود. در نتیجه در موارد سخت و ترد بهتر نفوذ می‌کند و همچنین هنگامی که بخواهیم ورق‌های بسیار نازک، فلزهای خاص مانند طلا و نقره و ... را اندازه‌گیری کنیم باید از نیروهای بسیار کم استفاده کرد که مقدار نفوذ حداقل ۰/۱ ضخامت لایه باشد که سختی سنجی نوپ این حالت را دارد.

مراجع:

۱. Kamm, J. and G. Vander Voort, *An introduction to microindentation methods*. Tech-Notes: .Using Microstructural Analysis to Solve Practical Problems, 1997. 1(6): p. 1-6
۲. George, F., V. Voort, and R. Fowler, *Low-Load Vickers Microindentation*
۳. G.V., *Metallography: principles and practice*. McGraw-Hill Book Company, 1984, 1984: ,Voort .p. 752
۴. Dieter, G.E. and D.J. Bacon, *Mechanical metallurgy*. Vol. 3. 1986: McGraw-hill New York
۵. Avner, S.H., *Introduction to physical metallurgy*. 1964

KOOPA