# روش های سختی سنجی فلزات

معمولاً اصطلاح سختی به خاصیت اجسام در مقابل نفوذ جسم دیگری به سطح آنها و میزان مقاومت و نفوذپذیری آنها اطلاق می شود.
رایج ترین آزمایش سختی، مشتمل بر حرکت یك جسم نفوذ کننده و یا فرو رونده بداخل جسم مورد آزمایش و ثبت نیروی لازم برای این کار و یا اندازه گیری مقدار فرو رفتگی در برابر یك نیروی معین می باشد، که این ازمایش، آزمایش سختی فرو روندگی نامیده می شود. چنانچه جرم معینی از یك ارتفاع مشخص بر روی سطح قطعه(که خاصیت الاستیک زیادی دارد) مورد آزمایش انداخته شود و مقدار واجهش آن جرم معین اندازه گرفته شود، به این آزمایش، آزمون سختی واجهشی گفته می شود. ساده ترین نوع سختی سنجی، خراشیدن سطح جسم نمونه به وسیله یك سوهان می باشد. مقدار خراشهای ایجاد شده از نظر کمی و کیفی نشان دهنده میزان سختی نسبی جسم خواهد بود. مقدار ساییدگی سطح جسم تحت شرایط تعیین شده، به عنوان سختی سایشی و مقاومت در مقابل سایش نامیده می شود.

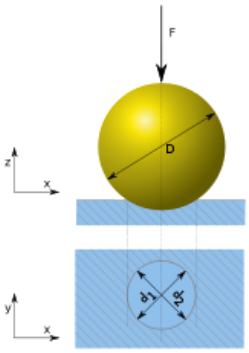
اصول سختی سنجی بر پایه اندازه گیری مقاومت جسم در مقابل فرو رفتگی است که اساس و مبنای دستگاههای اندازه گیری مختلف می باشد. ابزار فرو رونده، در جسم، در آزمون سخت سنجی ممکن است به صورت ساچمه، مخروط ناقص، یك سطح و یا هرم باشد که معمولا از فولاد سخت یا الماس ساخته شده و تحت یك نیروی ایستا (استاتیك) بکار برده می شود.
در سختی سنجی فرو روندگی، به دو طریق ممکن است سختی را اندازه گیری نمود. یا باری که بایستی تا عمق معینی فرو رفتگی را ایجاد نماید، اندازه گیری می شود و یا مقدار گودی ایجاد شده توسط یك بار مشخص اندازه گرفته خواهد شد. در آزمایش واجهش، یك بار متحرك و یا ضربه ای بر روی سطح قطعه مورد آزمایش انداخته می شود.
مقدار واجهش اندازه گرفته شده، سختی قطعه مورد آزمایش را نشان می دهد. شاید متداول ترین آزمایش های سختی سنجی بر روی فلزات، آزمونهای برینل و راکول باشد، هر چند انواع آزمایشات سختی سنجی دیگری نیز امروزه با توجه به زیاد شدن فولادهای سخت و سخت تر شدن سطوح فولادها مورد استفاده قرار گرفته اند.
این آزمایشات شامل سختی سنج شور، ویکرز، مونوترون (آزمایش با گلوله الماس)، راکول سوپرفیشیال (سختی سطحی راکول) و سختی سنج هربرت می باشد.
همچنین لزوم تعیین سختی قطعات بسیار نازك، قطعات بسیار ریز و تعیین گرادیان سختی (افت نسبی سختی) در فواصل بسیار کم و در لایه های نازك، سبب ابداع دستگاههای ریز سختی سنج ها مثل ریز سختی سنج نوپ شده است.

امروزه از روش های مختلف سختی سنجی به منظور اندازه گیری میزان سختی فلزات به ویژه پس از سخت کاری و عملیات حرارتی استفاده می شود. اساس کار دستگاه های سختی سنجی شامل ایجاد نقطه اثر بر سطح فلز و بررسی آن می باشد. مهم ترین روش های مرسوم سختی سنجی که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می شود عبارتند از:

- روش برینل
- روش ویکرز
- روش راکول

**روش برینل**

یکی از قدیمی ترین آزمایشات سختی سنجی، آزمایش برینل می باشد. این آزمایش، یك آزمون سختی سنجی ایستایی می باشد که عبارتست از فشردن یك ساچمه فولادی سخت بر روی سطح یك قطعه نمونه.
در این آزمون معمولاً از یك ساچمه به قطر 10 میلی متر از جنس فولاد سخت و یا کربور تنگستن، برای اعمال یك بار بر روی سطح ماده استفاده می شود که برای فلزات سخت، مقدار بار 3000 کیلوگرم، برای فلزات نیمه سخت 1500 کیلوگرم و برای نرم 500 کیلوگرم و یا کمتر می باشد.




تفاوت انواع مختلف این دستگاهها به شرح زیر است:
1-روش وارد آوردن بار، به عنوان مثال اعمال نیرو توسط فشار روغن، چرخ دنده و پیچ و یا استفاده از اهرم و وزنه.
2-روش اجرای عملیات، به عنوان مثال استفاده از نیروی دست و یا نیروی ماشین.
3-روش اندازه گیری بار وارده، به عنوان مثال استفاده از پیستون و وزنه، فشار سنج بوردون، نیروسنج و یا اهرم و وزنه.
4-اندازه دستگاه، برای مثال دستگاه بزرگ و یا دستگاه کوچك (سیار و قابل حمل).

آزمایش برینل را می توان توسط یك دستگاه آزمون عمومی (یونیورسال) با اضافه کردن یك مبدل مناسب که ساچمه را نگهدارد، انجام داد. آزمایش بر روی ورق های فلزی را می توان با استفاده از ابزارهای دستی مثل انبردست و ساچمه و گیره فنری با قدرت 22 پوند انجام داد. برای انجام آزمایش برینل، قطعه نمونه را بر روی سندان قرار داده و سندان را بالا می برند به طوری که یا ساچمه مماس شود. پمپ نمودن روغن به داخل سیلندر اصلی، سبب اعمال یك نیروی رو به پایین به پیستون اصلی دستگاه و در نتیجه فشار وارد آوردن بر روی ساچمه می شود. این فشار باعث فرو رفتن ساچمه بر روی سطح قطعه مورد آزمایش می گردد. پیستون کاملاً روان، کار می نماید لذا تلفات اصطکاك قابل چشم پوشی است. با نصب یك فشار سنج بوردون، مقدار تقریبی بار وارده نشان داده می شود. هنگامی که بار وارده، به مقدار مورد نظر برسد، وزنه تعادل بالای دستگاه با عمل یك پیستون کوچك، به بالا کشیده می شود. این عمل به منزله ضامن اطمینانی است که بار زیادی بر روی ساچمه وارد نشود. در آزمایشات استاندارد، قطر حفره ایجاد شده توسط ساچمه، به وسیله یك میکروسکوپ میکرومتر و یا میکروسکوپ برینل که یك صفحه شفاف مدرج در میان دید آن می باشد، اندازه گرفته می شود. آزمایش برینل معیار خوبی برای اندازه گیری سختی می باشد ولی دارای محدودیت هایی است. یکی از این محدودیت ها، مناسب نبودن آن برای مواد بسیار سخت می باشد. در این موارد، ساچمه اکثراً تغییر شکل می دهد. همچنین برای قطعات خیلی نازك که احتمالاً عمق حفره ایجاد شده بیشتر از ضخامت قطعه باشد، این روش مناسب نمی باشد. یکی دیگر از محدودیت ها، مناسب نبودن آن برای قطعاتی است که سطح آنها سخت شده باشد. در این موارد ممکن است عمق حفره ایجاد شده از ضخامت لایه سخت شده بیشتر باشد، و در نتیجه نرمی مغز قطعه، نتیجه آزمون را بی اعتبار نماید. در آزمایشات استاندارد، بار کامل بمدت 30 ثانیه بر روی فلزات آهنی و 60 ثانیه بر روی فلزات نرمتر وارد می آید. عدد سختی برینل، مقدار اسمی فشار بر واحد سطح حفره ایجاد شده برحسب کیلوگرم بر میلیمتر مربع می باشد. این

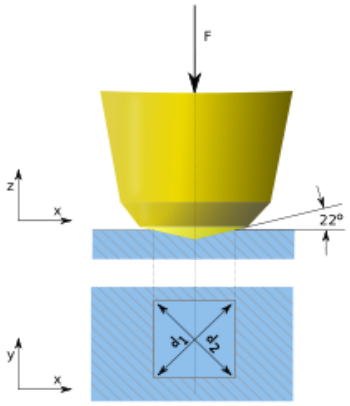
عدد با تقسیم بار وارده بر سطح حفره ایجاد شده که کره در نظر گرفته می شود محاسبه می گردد. مقدار بار وارده و قطر حفره ایجاد شده در فرمول زیر قرار داده می شود:

$$\mathrm{BHN} = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

که در این فرمول BHN عدد سختی برینل (کیلوگرم بر میلی مترمربع)، P مقدار بار اعمال شده (به کیلوگرم)، D قطر ساچمه (میلی متر) و d قطر حفره ایجاد شده به میلی متر می باشد. به منظور آزادی عمل قابل قبول در ازمایشات، این اعداد به گونه ای انتخاب شده اند که با یکدیگر همپوشی داشته باشند. ضخامت قطعات نمونه جهت آزمایش نبایستی کمتر از ده برابر عمق حفره ایجاد شده باشد. چنانچه قطعات نازکتر بعنوان نمونه مورد آزمایش قرار گیرند، عدد سختی بدست آمده، در حقیقت عدد سختی اندازه گیری شده مربوط به سندان زیر قطعه مورد آزمایش می باشد. آزمایش برینل دارای محدودیت ها و معایبی نیز می باشد. یکی از این معایب این است که این آزمایش، مخرب می باشد، زیرا بر روی نمونه آزمایش ، حفره ای بر جا می ماند. در بیشتر موارد باقی ماندن این حفره، قطعه را غیرقابل استفاده می نماید. از طرف دیگر اکثریت دستگاه های آزمایش برینل سنگین هستند (بیشتر از 200 پوند) که باعث ایجاد اشکال در جابجایی و تحرك گردیده و مناسب استفاده در خارج از آزمایشگاه نمی باشد. همچنین دستگاه برینل نسبت به سایر دستگاه ها گرانتر می باشد. برای مثال یك دستگاه برینل ساده با متلقات و میکروسکوپ، معمولاً بیش از 5000 دلار قیمت دارد. از طرف دیگر این آزمایش یك آزمایش نظری است که عواملی مثل آموزش کاربران، تجربه و استعداد آنها در اندازه گیری ابعاد حفره ایجاد شده، ممکن است در نتایج آزمایش اثر داشته باشد. اگرچه این اثرات معمولا کم است، ولی نتایج خوانده شده توسط دو نفر از کاربران بر روی یك قطعه نمونه و در یك آزمایش، ممکن است به طور متوسط تا 10 درصد اختلاف داشته باشد. هم چنین لزوم محاسبه شده عدد برینل (BHN) بجای خواندن مستقیم، یك محدودیت و نقص محسوب می شود.
از طرفی آزمایش برینل هم محاسنی دارد، چون قدمت آن زیاد و کاملاً جا افتاده است، بیشتر مردم با آن آشنایی داشته و عموماً نتایج آزمایشات برینل، در صنایع مورد قبول واقع گردیده است. این آزمایش را می توان سریع و معمولا در کمتر از دو دقیقه انجام داد. صرفنظر از قیمت و هزینه اولیه دستگاه، انجام آزمایش معمولا ارزان تمام می شود و در نهایت وجود نقایص درونی مواد از جمله وجود یك نقطه سخت و یا یك حفره ، اثر بزرگی در نتیجه آزمایش برینل نخواهد داشت.

**روش ویکرز**

محاسبه سختی مواد با استفاده از نسبت بار وارده به سطح فرو رفتگی (مثل آزمایش برینل) شامل سایر آزمونها نیز می گردد که یکی از آنها آزمایش تعیین سختی به طریقه ویکرز می باشد. در این ازمایش از یك دندانه الماسه کوچك، به شکل هرم مربع القاعده استفاده می گردد که زاویه نوك آن 136 درجه و بار وارده از 5 تا 120 کیلوگرم با تقسیمات 5 کیلوگرمی می تواند تغییر نماید.




به منظور اجرای آزمایش، قطعه نمونه را روی سندان قرار داده و به وسیله یك پیچ، سندان به سمت بالا حرکت می نماید تا قطعه دقیقا نزدیك نوك دندانه قرار گیرد. سپس با آزاد کردن اهرم شروع کننده آزمایش، یك بازوی سنگین که نسبت آن 20 به یك می باشد، رها شده و وزن بازو به ارامی بر روی وارد می آید و سپس بازو به محل اولیه بر می گردد. آماده کرده مجدد دستگاه برای ازمای، به وسیله فشار دادن یك پدال پایی انجام می شود. پس از آنکه سندان به پایین آورده شده یك میکروسکوپ بر روی قطعه قرار گرفته و قطر مربع فرور فتگی با دقت 0.001 میلی متر اندازه گرفته می شود. در صورت لزوم از ساچمه ای به قطر 1 یا 2 میلی متر به عنوان دندانه نیز می توان استفاده نمود. از دستگاه و یکرز اصولا در پژوهشها استفاده می شود، یکی از مزایای دستگاه و یکرز که بعضی از کاربران این دستگاه به آن اعتراف کرده اند، دقت اندازه گیری ابعاد فرو رفتگی حاصله است. اندازه گیری قطر یك مربع، بسیار دقیق تر از اندازه گیری قطر یك دایره است زیرا برای اندازه گیری قطر دایره بایستی فاصله دو خط مماس بر دایره اندازه گرفته شود. روش ویکرز، نسبتاض سریع بوده و با آن می توان سختی نمونه های نازك تا 0.006 اینچ ضخامت را اندازه گرفت. گفته شده است که تا محدوده 1300 درجه سختی (تقریباً 150 درجه سختی برینل) نتایج این روش دارای دقت مطلوب می باشد. به نظر می رسد که امکان مسطح شدن دندانه دستگاه و یکرز کمتر از دندانه برینل باشد. از معایب آزمایش ویکرز این است که این آزمایش، مخرب بوده و سرعت اجرای آنم کمتر از ازمایش برینل و راکول است و سطح قطعه نمونه را بایستی قبل از آزمایش پرداخت نمود که این کار وقت زیادی را می گیرد. اگرچه آزمایش ویکرز بسیار دقیق تر از راکول و برینل است ولی قیمت دستگاه آن نیز بسیار گرانتر می باشد. در مقابل، نتایج ازمایش ویکرز در سطح وسیعی از صنایع پذیرفته شده است. عدد سختی دستگاه ویکرز با دندانه الماس هرمی شکل، که به صورت خلاصه، HV نوشته می شود، از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2}$$

که در این فرمول، HV عبارتست از عدد سختی و یکرز با دندانه الماسه هرمی شکل برحسب کیلوگرم بر میلی متر مربع، F بار وارده بر حسب کیلوگرم و d قطر مربع فرو رفتگی برحسب میلی متر است.

**روش راکول**

راکول برای اندازه گیری سختی فلزات نسبتاً سخت مورد استفاده قرار می گیرد که بر سه نوع است :

راکول A : که نیروی 60 کیلوگرم را اعمال می کند

راکول B که نیروی 100 کیلوگرم را اعمال می کند

راکول C که نیروی 150 کیلوگرم را اعمال می کند

راکول هم بصورت ساچمه ای و هم بصورت سوزنی موجود است.

اساس کار اغلب این دستگاهها به نقطه اثر ایجاد شده به روی سطح فلز است. راکول ساچمه ای به کمک 1 ساچمه کار می کند بطوریکه وزن اعمال شده به روی فلز بواسطه ی این ساچمه فلز منتقل می شود که دارای اندازه های مختلفی است ولی راکول سوزنی به کمک یک سوزن این نیرو را روی فلز ایجاد می کند که نقطه اثر آن بصورت یک مخروط 120 درجه خواهد بود. راکول های از نوع A و C هردو نقطه اثر آن ها بصورت یک مخروط 120 درجه است ولی راکول، ساچمه ندارد و دارای سوزن هرمی شکل با زاویه 130 درجه است که نقطه اثر آن یک چهار گوش است.

آزمایش سختی راکول شبیه آزمایش برینل است که در آن عدد سختی، نسبتی از بزرگی حفره ای است که توسط یك دندانه(عمق نفوذ) و با وارد آوردن یك بار ثابت معین بر روی قطعه نمونه بوجود می آید. آزمایش راکول با آزمایش برینل از نظر اصول متفاوت است، زیرا در آزمایش راکول سه نوع بار و دندانه مختلف را می توان انتخاب نمود.
اختلاف آزمایش راکول با آزمایش برینل در کوچکتر بودن بار وارده و شکل دندانه ایجاد کننده حفره است و در نتیجه حفره ایجاد شده کوچکتر و کم عمیق تر خواهد بود. بنابراین طیف کاربرد آن وسیعتر از آزمایش برینل و انجام آن سریعتر می باشد چون می توان مستقیماً قرائت عدد سختی را انجام داد.

دندانه فرو رونده یا نفوذ کننده ممکن است یك ساچمه فولادی سخت شده بوده و یا یك مخروط الماسه با زاویه 120 درجه که نوك مخروط آن گرد شده و بریل نامیده می شود، باشد. عدد سختی که روی نشانگر مدرج می توان قرائت نمود، یك عدد دلخواه قراردادی است که به طور معکوس با عمق حفره ایجاد شده، متناسب می باشد. مقیاس بکار رفته برای آزمایش، نشان دهنده بار وارده و نوع دندانه استفاده شده می باشد.

بعضی از دستگاههای آزمایش راکول، به صورت خاص برای تعیین سختی سطح ساخته شده اند. این آزمایش برای تعیین سختی سطح قطعاتی طراحی شده است که در آن فقط یك فرو رفتگی سطحی و کم عمق، مورد نظر می باشد. دستگاههای آزمایش سختی سنجی سطحی از لحاظ اصول کارکرد، بادستگاههای معمولی راکول یکسان می باشند هر چند این دستگاهها، نیروهای کوچك تر و سبکتری را مورد استفاده قرار داده و دارای سیستم های دقیق تری جهت اندازه گیری عمق فرو رفتگی می باشند. دستگاههای آزمایش سختی سنجی سطحی راکول می توانند بار کوچکی به مقدار 3 کیلوگرم و بارهای بزرگی به مقدار 15، 30 یا 45 کیلوگرم را به کار ببرند. یك درجه بر روی نشانگر دارای دندانه هایی مشابه با سایر دستگاههای سختی سنج راکول می باشند. آزمایش راکول هم مثل آزمایش برینل دارای مزایا، معایب و محدودیت هایی می باشد. آزمایش راکول یك آزمایش دقیق و حساس است و می توان آن را سریع اجراء نمود و نتیجه را مستقیماً از روی دستگاه قرائت نمود، بدون اینکه نیاز به محاسبه داشته باشد. این آزمایش مانند آزمایش برینل در سطح جهانی مورد قبول قرار گرفته است.
آزمایش راکول یك ازمایش معتبر است که هر کس می تواند آن را انجام داده و نتایج یکسانی را بر روی یك نمونه بدست آورد و بستگی به مهارت اپراتور ندارد.
آزمایش راکول را بر روی طیف وسیعی از مواد گوناگون می توان انجام داده و سختی آنها را بدست آورد. معایب آزمایش راکول بسیار شبیه آزمایش برینل است.
دستگاه آزمایش نسبتاً گران و مناسب استفاده در خارج از آزمایشگاه نبوده و ازمایش عموماً مخرب محسوب می شود.

منابع:

انجمن متالورژی ایران

ویکیپدیا