



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی و علم مواد

آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد

آزمایش شماره 4 :

آزمایش سختی سنجی

نگارش :

پیام مرادی بانیارانی

98107728

گروه :

دوشنبه ساعت 13:30 تا 16:30

اساتید :

دکتر سیامک سراج زاده

مهندس جعفر مهدی اخگر

تاریخ انجام آزمایش :

1401/01/22

عنوان و آزمایش سختی دستی

سختی را به عنوان مقاومت در برابر تغییر شکل نویسی و در در فلزات به عنوان مقاومت در برابر تغییر شکل حجمی می‌دانند تعریف کرد. ولی بسته به نوع آزمایش و کاربرد تعاریف زیادی دارد که مختصین آنها عبارتند از:

- الف) مقاومت در برابر فرو رفتگی تحت نیروهای استاتیکی یا دینامیکی
 - ب) جذب انحرافی تحت نیروهای ضربه‌ای
 - ج) مقاومت در مقابل خراش
 - د) مقاومت در مقابل سایش
 - ه) مقاومت در مقابل برش هاستینکاری و یا سوراخاری
- روش‌های بررسی سختی مواد به صورت ① روشن خراش دارن ② استفاده از فرو رفتن یک ساقچه یا فرو رونده در داخل جسم ③ سختی دینامیکی

روشن خراش دارن: این روشن بیشتر در صنعت الکترونیک بکار می‌رود و سختی با استفاده از آنده یک فلز فلز بعدی را خطا و اندازد به دست و آید که مختصین طبقه بندی در این روشن جدول Mohs ۲-۳ باشد در این طبقه تالک با سختی ۱ مختصین والاس با سختی ۱۵ مختص تین ماده می‌باشد. مطابق با این طبقه بندی سختی مس آنجلی سده ۳ و مارپیچ ۷ می‌باشد. بیشتر فلزات بعده مطابق با این جدول سختی بین ۸-۴ را درآمیزند.

واضح است که بعلت کم بورن داشته تغییرات سختی این روشن در بورد فلزات بکار نمی‌رود.

سختی دینامیکی:

در این روشن فرو رونده (ساقچه) از ارتفاع مخصوص به سطح فلز افتاده و یا استفاده از میزان انحرافی جذب نموده و ارتفاع برخست ساقچه (فرو رونده) سختی اندازه لیری می‌شود.

این روشن نیز در بورد فلزات بکار نمی‌رود. در بورد فلزات از روشن سوم یعنی مقاومت در مقابل فرو رفتگی است که لقین سختی استفاده می‌شود.

مقاومت در مقابل فرو رفتگی :

این روشن دارای انواع مختلف و باشد که عبارتند از سختی بردیل، سختی هایر، سختی ویکر

سختی راکول و باشد در ادامه به بررسی تک تک آنها می‌پردازم.

میکرو سختی

(۱) سنتی برینل و

اوین سنتی سنجی فورونده که به طور استرد پذیرفتگ نموده بود توسط آقا J.A. Brinell در سال ۱۹۰۰ تئست مطروح گردید.

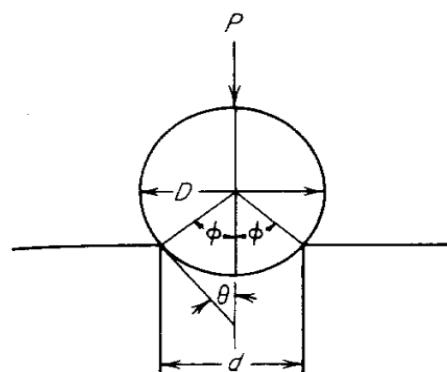
در این روش محضلاً از ساجهه های فولادی به قطر ۱۰mm به عنوان فورونده استفاده می شود. میزان شرکت اعمالی برای فلزات سخت ۳۰۰۰kg و برای فلزات نرم ۵۰۰kg و برای فلزات با سختی متوسط ۶۰۰kg می باشد. حد زمان اعمال نیرو برای فلزات آهی حدود ۳۰ ثانیه و برای فلزات غیر آهی ۵۰ ثانیه می باشد.

برای فلزات سخت از ساجهه های کاربید استنکسون استفاده نمی شود.
بعد از حذف نیرو قطعه فوروندی به مسیله میله و سکوب اندازه سیری می شود. در این روش سنتی به عنوان نیرو تقدیم بر سطح اثر ایجاد شده تحریف نموده و مسیله فرمول زیر بیان گردید.

$$BHN = \frac{P}{(\pi D_{1/2})(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi d t} \quad (4.1)$$

در رابطه فوق P نیرو به کیلوگرم، D قطر ساجهه به میلیمتر، d قطر اثر ایجاد شده به میلیمتر و t عرض اثر به میلیمتر است. واحد سنتی برینل کیلوگرم به میله و سکوب متربرم می باشد.
با توجه به شکل زیر می توان $d = D \sin \phi$ را نوشت و معادله (۴.۱) را ب معادله (۴.۲) تغییر داد.

$$BHN = \frac{P}{(\pi \frac{D}{2}) D^2 (1 - \cos \phi)} \quad (4.2)$$



شکل ۴.۱ پارامتر های اساسی در تست برینل

برای آینه بتوانیم با نیرو ویا ساجده های غرایت اندازد سختی ملائی بدست آوریم باید شکل هندسی این
های ایجاد شده مثابه با شدن و بدل آینه ای را برای زاویه ϕ ثابت بگاند همانرا (4.2) نامی دهد
برای آینه ϕ و عدد سختی بینیل ثابت بگاند که رابطه زیر بین نیرو و قاعده ساجده بگزیر باید باشد

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2} = k \quad (4.3)$$

نسبت ثابت k بر خلاف فرق لند که در دور حلقن و خوداد $k=3^\circ$ ، مس و آلوچینوم $k=10^\circ$
آلیارهای مس و آلیارهای آلوچینوم در دور سرب $k=1^\circ$ باشد.

از روشن دارای هزاوا محدودیت های است که محدودیت های آن عبارتند از :

- الف) بالافزایش نیرو سختی افزایش و سینه کاهش می‌یابد
- ب) اثر بزرگ ایجاد شده کاربرد آنرا محدود کند
- ج) معلم است در هنچ‌های استفاده بجزئی اجمالی کوچک اثر بزرگ معلم‌های مناسب برای ساخت نسونه تغییر نمی‌نماید.

و قابل آن عبارتندار است

الف) به علت بزرگ بودن اثر ایجاد شده، مسئله ناهمانی ساختار این بروز.

ب) کفتهای خراش‌ها و ناصاف‌های سطح حساس است.

(۲) سختی فایر (Meyer)

در ان روش بخلاف روش بربنل مساحت واقعی سطح اثر روان‌آزاد لسی کل کم در اینجا مزناً تصور اثر را اندازه لسی کل و به صورت نیرو کفتهای سطح اثر تصور شده تعریف می‌شود.

$$P_m = \frac{P}{\pi d^2} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (4.4)$$

سختی فایر نیز مانند سریل دارای واحد کیلوگرم به قابلی متوجه بود باشد.
نسبت به سختی بربنل کفتهای نیروی اعمال شده حساس است. در دور فلنات کاربرد شده سختی فایر می‌باشد و مستقل از نیرو است. حال آنند سختی بربنل با افزایش نیرو کاهش می‌یابد.
در فلنات آنلاید با افزایش نیرو، سختی فایر به علت کارستی ایجاد شده افزایش می‌یابد. ولی سختی سریل ابتدا با افزایش نیرو، افزایش بیکاره و سینه در نیرو های بالاتر کاهش می‌یابد.

هایر پلک را بعد تصریح راین نیرو اعمال شده و قاعده اثر ایجاد شده بست آور که به قانون فایر معروف است

$$P = k d^n \quad (4.5)$$

در این خود، n ثابتی است که برابر طبق کارستی فلنات و باشه و برسی فلنات کامل آنلاید حدود ۰.۷
و برسی فلنات کارست شده حدود ۰.۵ باشد. این پارامتر را لذان از طبق رسم خودار P و ما بحسب d Log d به عنوان شبیه خط خودار در فلنات نماییم. به طور تقریبی $n=1$ با تفان کارستی را بعد زیر را داریم

$$n' = n + 2 \quad (4.6)$$

همینه عارق توان با قدر دادن $d = 1$ بعد از Δ فاریت نه تن (از طرف رابطه (5.4) بدست آورد).
 آنکه نیروی اعمالی کم باشد نیز سه اطلاف فرورونده بطور کامل ملاستیک نیست، لیکن رابطه (5.4) نیروی نفر کند. مقادیر نیروی اعمالی بستگی به سختی فلزات دارد. مثلاً برای Δ لولای با قطر 10mm نیروی اعمالی باشد 50kg برقی می باشد با $VHN = 100$ باشد و می باید فولاد را سختی بربل 400 باشد نیروی اعمالی از 900kgf/cm^2 بیشتر باشد.

③ سختی ویلز :

در این روش از هرم الماس با مقطع چهار وجهی برگشتوان فرورونده استفاده می شود. زاویه بین صفحات متقابل هرم ۱۳۶ درجه می باشد. این زاویه بگونه ای انتخاب شده که بین سه تناب را نسبت به خصل لوله در سختی بربل دارد. به دلیل شکل فرورونده بین قسمت، تنش سختی هرم الماس Δ (DPH) سختی به عنوان نیزو تقسیم بر سطح اثر ایجاد شده تعریف می شود و در عمل این سطح با اندازه لیز قطع اثر محاسبه و از فریول زیر بدست آید.

$$DPH = VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \quad (4.7)$$

در رابطه فوق P نیروی اعمالی سده ب کیلوگرم، L مقدار متوسط قطع اثر ب سانتی متر، $\theta = 136^\circ$ و VHN عدد سختی ویلز می باشد.

در این روش ماموت از فلزات خلی نرم تا معادنی سخت، سختی آنها را اندازه گیری کنند.
 در این روش نیزو بستگی به سختی فلز دارد و از ۱ تا ۱۲۰ کیلوگرم متغیر است و توان سختی فلزات را در یک نیروی معین از کتاب ۵۰۰ کیلوزی اندازه گیری کرد.

با وجود فرازایی خوب از این سختی بطرکسترهای استفاده می شود جرأت ساخت آن کم و باشد و همین سطح لفونه باشد قبل آماده شود و خطا از انداده کسری قطعه اثر را زیاد است.

۴) سختی راکول:

یکی از تسبیت هایی که بطور استفاده در آمریکا استفاده می شود سختی راکول می باشد.

به دلیل سرعت بالا، عدم وجود خطا ای انسانی و قابلیت درستگنی اختلاف کم سختی در خود راهی است سه نمایندگی فرو رفتگی این راکول در استفاده قرار گیرد.

در این روش از محروم طبقه ای بازوی رأس ۱۲۵ درجه و پای ساقیمه فولادی به قطعه های $\frac{1}{12}$ و $\frac{1}{8}$ اینچ به سکونان فرو رونده استفاده می شود. ابتدا برای تنیبیت نفوذه نیتروسی ۱۵ کیلوگرم اعمال می شود و این عمل باعث می شود و این عمل باعث می شود که سطح احتیاج به آماده سازی کفته ری داشته باشد، سپس

لیقیه نیترو اعمال شده و با اندازه لیتری سعک این عذر سختی درست می آید

سختی راکول درای واحد نیست. در این روش بسته به نوع فرو رونده و مقیاس نیترو اعمال شده

اسام مختصی وجود دارد که در جدول ۴.۱ افحان آن دیده می شود.

سختی راکول بدون حرف ممتاز ندارد. به عنوان مثال برای خود راهی است سه در مقیاس C با فرو رونده طبقه ای و اعمال نیتروسی ۱۵ کیلوگرم صورت میگیرد. محدوده قویان مقیاس از حدود ۲۰ R_c تا ۷۰ R_c باشد. برای مواد نرم تر از مقیاس B با راکول فولادی با قطعه $\frac{1}{16}$ اینچ و نیترو اعمالی ۱۰۰ کیلوگرم دور استفاده قرار گیرد؛ محدوده دور استفاده در این مقیاس از ۰ R_B تا ۱۰۰ R_B می باشد.

از مقیاس A با فرو رونده طبقه ای و نیترو اعمالی ۶۰ کیلوگرم برای بیشتر سختی سنجی ها استفاده می شود، این سختی سنجی بالاتر مخصوصات برای مواد راهی مختلف از بینی ۳ نمایندگی کاربرد Cemented Carbides دارد.

جدول 4.1 اسامی مختلف سختی راکوی

نوع راکوی	نوع فرورونده	نیرو Kg	کاربرد
A	مخروط الماسی	۶۰	کاربیدهای سمنت، فولادهایی که سطحی سخت شده‌اند
B	ساقمه فولادی به قطر $\frac{1}{16}$	۱۰۰	آلیاژهای مس و آلومینیم، فولادهای نرم
C	مخروط الماسی	۱۵۰	فولاد- چدن سخت، فولادهایی که عمقی سخت شده‌اند
D	مخروط الماسی	۱۰۰	فولادهای با سختی متوسط و فولادهای نازک
E	ساقمه فولادی به قطر $\frac{1}{8}$	۱۰۰	چدن، آلیاژهای Al , Mg , فلزات یاتاقان
F	ساقمه فولادی به قطر $\frac{1}{16}$	۶۰	آلیاژهای مس آنیل شده
G	ساقمه فولادی به قطر $\frac{1}{16}$	۱۵۰	برنر فسفر، مس، Be , آهن مالیبل
H	ساقمه فولادی به قطر $\frac{1}{8}$	۶۰	Zn , Pb , Al

۵) سختی مکلر و سکلوی:

بسیار مسائل متداول در کلی اصطلاح به تهییں سختی در راهیه‌های خلیک‌وحیک لی باشد. به عنوان مثال اندازه تیزی سختی در صلح کریوره نموده، تهییں سختی مکلر و سکلوی اخبار اجزاء مختلف به صورت مجزا و توان اشاره نمود.

در این روش از هم العادی به عنوان فرورونده استفاده نموده به طوریکه نسبت قاعده بزرگ اهر ایار نموده به قاعده وحیک آن ۱:۷ باشد و سختی به عنوان نیرو کفیم بر تصویر سمع ایار نموده آنرا دید

$$KHN = \frac{P}{AP} = \frac{P}{L^2 C} \quad (4.8)$$

می سعدوار فریول زیر بدمت و آید.

در اینجا لد فوکس P نیتروی اعمالی به کلیولورم، آپ دکسیور سطح این ایجاد شده به صلب هسته مربعی L طبق قطعه بزرگ به صلب هسته C گاتی است تریپل به فرو رونه و CH_3CN عذر سختی Knoop باشد

(راهن رومن نیوار ۲۵ کم تا ۳۸۰۰ کم متفاوت است و بیشتر برای اندازه لیری سختی فلزات ترد و قطعات نازک و یا اندازه لیری سخت) پلک هزار خاص کفار رود.

هزارایی این روش نسبت به وکیلز این است که میتوان اثربهای ایجاد شده را اندازدیک تر بهم انتخاب کرد. از طبقه دریک مقدار معنی از فعله ایم، سطح و عمق اثر ایجاد شده حدود ۱۵ درصد از سطح و عمق اثر ایجاد شده توکل روشن وکیلز می باشد. (یعنی تکل خاص فروزنده)

در موقع اندازه لیری سختی با روئیتی هنرمندانه مذکور را باید نفات زیر توجه کرد:

۱) فروزنده و محل تواریخ‌قلم لفونه در سلطنه سختی سین (سنگان) کمیز باشند

(۲) سطح دفعه‌های از مالیات تغییر خفت، صاف و عاری از آنست.

۳) سلحشور بازی مسلح و عکس دیر فرورونده باشد.

(۴) آزمایش بروی سعل استواره ای هنگریم خواندن عذر سختی و نتود که میزان خطا بستگی به سعای
از حنا، نیترو، فروروند و سختی فلز دارد.

۵) ضعفیت دفعه‌ای به حدی باشد که آمدل یا عالمی در طرف دیگر دفعه مظاهر نشود. بحث این ضعفیت دفعه‌ای در اقل ۱۰ برابر عمق این باشد.

۸) خواصل بین دو ایر ایکار شو باشد حرف اول ک-۳ برای قدر ایم ایکار ته باشد.

(۷) سمعت افعال نیزه باید استاندار باشد.

(۸) از دفعه های هشت شو سختی بناید گرفت. زیرا مقداری از نیرو صرف تغییر شغل هاست لسته.

خواسته سه مم

برای سختی سنجی لفونه نظری سه مم

$$VHN = \frac{1.854 P}{L^2} =$$

میانگین قطعه های ایجاد شده توسط فرآورند
و نیز

$$VHN \left(\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) \Rightarrow \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c} 0.495 & 0.5 & 0.51 & 0.52 & 0.55 & 0.51 & 0.5 & 0.49 \\ 227 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} & 222.48 & 213.84 & 205.7 & 209.71 & 213.84 & 222.48 & 231.65 \end{array}$$

سختی سنجی لفونه آلیاژ مسی بروش برینل با سایه ۰.۵ mm و با نیروی اعمالی ۶۲.۶ kgf

$$\textcircled{2} BHN = \frac{P}{(\pi D_2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

اندازه قطعه ایجاد شده

$$BHN \Rightarrow \begin{array}{c|c|c} 0.87 \text{ mm} & 0.865 \text{ mm} & 0.88 \text{ mm} \\ 101.85 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} & 103.07 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} & 99.472 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \end{array}$$

$$BHN = \frac{101.85 + 103.07 + 99.472}{3} = 101.464 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

میانگین از سختی ها

سختی سنجی لفونه آلیاژ آلمونیم بروش برینل با سایه ۰.۵ mm و با نیروی اعمالی ۶۲.۶ kgf

اندازه قطعه ایجاد شده در برآورد ۰.۷۹ mm ، اندازه قطعه ایجاد شده در برآوردن ۰.۷۸۵ mm

اندازه قطعه ایجاد شده در بررسی ۰.۷۹۵ mm

$$BHN = \frac{P}{(\pi D_2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

اندازه قطعه ایجاد شده

$$BHN \Rightarrow \begin{array}{c|c|c} 0.79 \text{ mm} & 0.785 \text{ mm} & 0.795 \text{ mm} \\ 124.241 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} & 125.87 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} & 122.641 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \end{array}$$

$$BHN = \frac{124.241 + 125.87 + 122.641}{3} = 124.251 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

میانگین از سختی ها

$$HRB = \frac{83+85+84}{3} = \underline{\underline{84 \text{ HRB}}}$$

سختی لفونه خودی با روش راول B
نماینده

$$HRB = \frac{47+48+46}{3} = \underline{\underline{47 \text{ HRB}}}$$

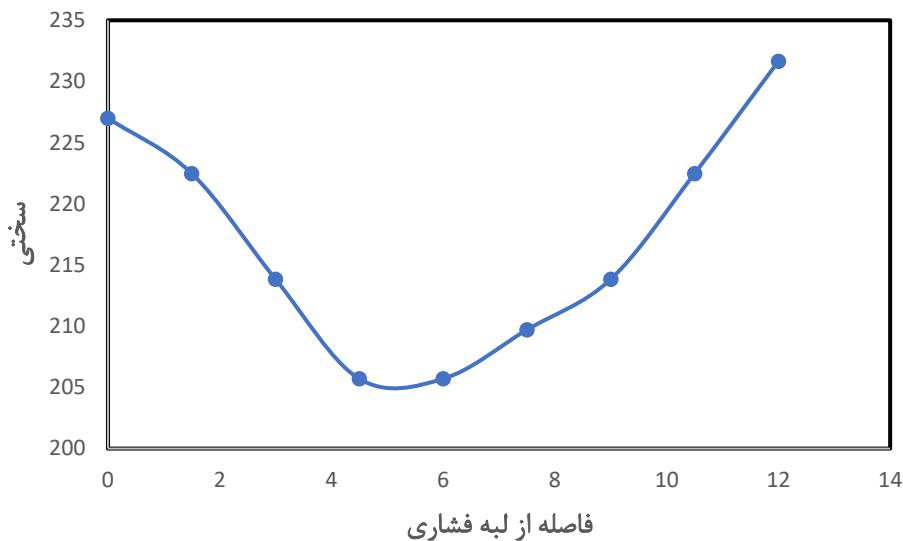
نماینده سختی لفونه مسی با روش راول B

در خصوص سختی لفونه دعلم سعف جون لفونه ماتحت خصم قرار گرفته و قسمت داخلی لفونه تخت فشار و قسمت بیرونی آن لفونه تخت کسشن قرار گرفته به دلیل کار سختی و تفسیر فرم پلاستیک سختی در مقاطع های مختلف متفاوت است. تخت کسشن قرار گرفته بین نیز تواند آن یک نماینده معین نسبت دار و نماینده تابع مقاطع قرار گیری و مثبت سختی است.

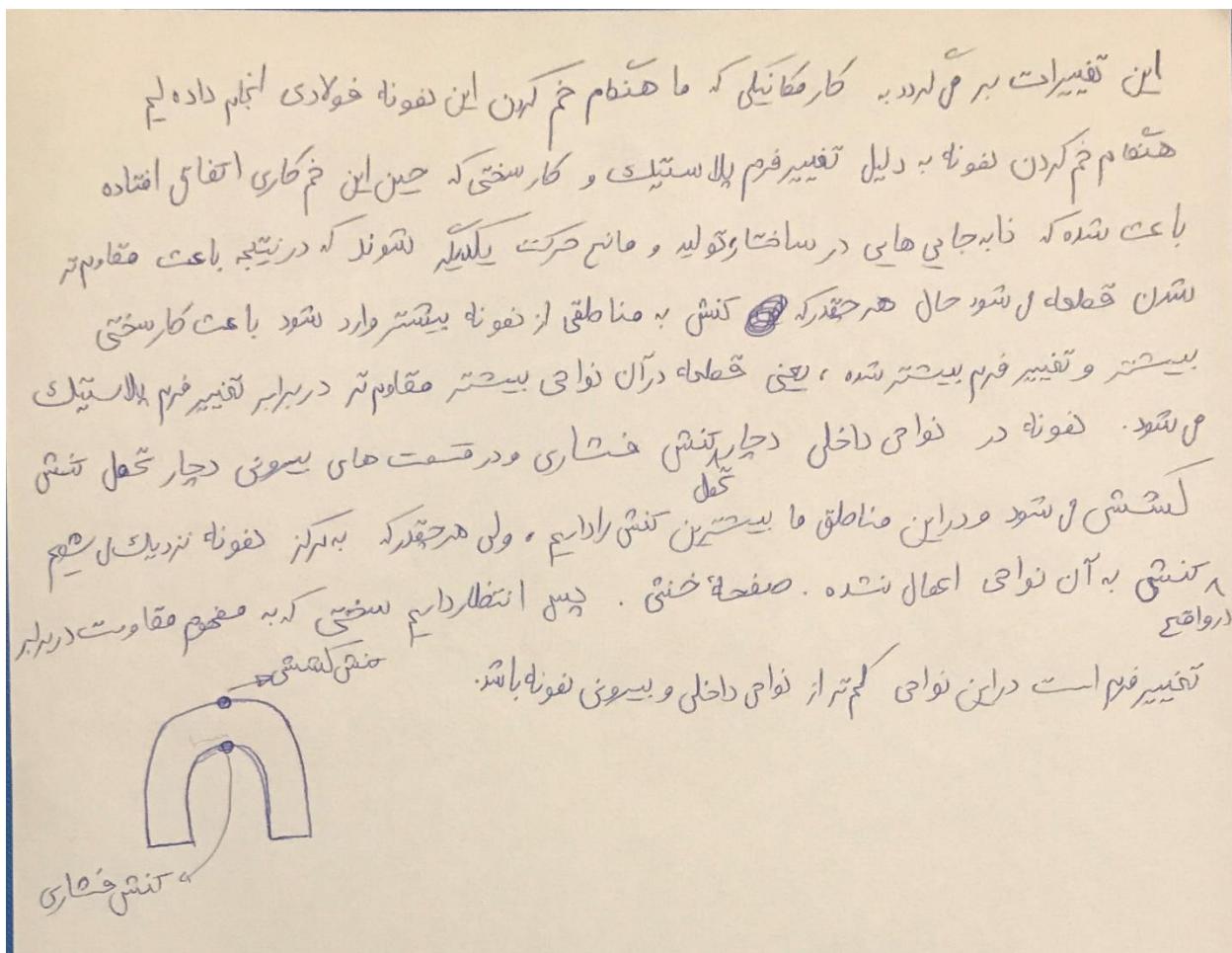
در مورد لفونه جمعیتی هم به دلیل اختلاف صورت لفته در انتهاهای سریع سرعت نموده مانند سختی با این و هرچقدر به دورتر از انتهاهای وارد ناحیه نرم تر قطعه شده که آهسته تر نسبت به انتهاه لفونه سرعت نموده. با سریع سرعت لفونه لغروفولوژی های هارتنزیدی در لفونه دعلم نیز میگرد که این لغروفولوژی دارای سختی بالای است در صریح آن لفونه به دلیل تعادل سرعت نمودن سختی کمتر دارد. نیز در این مورد هم نیز تواند یک نماینده کل در نظر گرفته شود.

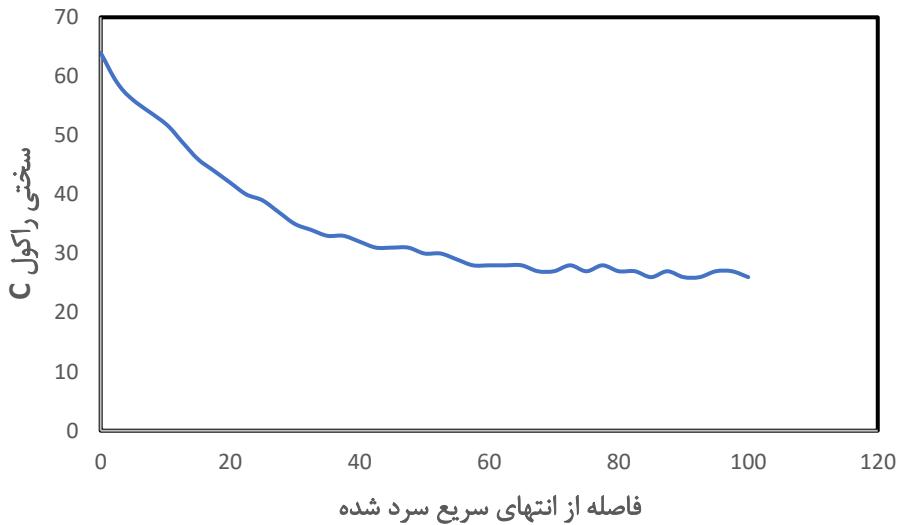
جدول 4.2 سختی فلزات مختلف

نمونه نوعی	L(mm)	0.495	0.5	0.51	0.52	0.515	0.51	0.5	0.49	
	VHN(kgf/mm²)	227	222.48	213.84	205.7	209.71	213.84	222.48	231.65	
در مورد نمونه جمینی سختی ها در صورت سوال قرار دارند										
نمونه ها	الباز مسی با روش سختی سنگی برینل	الباز آلومینیوم با روش سختی سنگی برینل	نمونه فولادی با روش C راکول	نمونه مسی با روش راکول B						
سختی ها (kgf/mm²)	101.464 BHN		124.251 BHN		84 HRB		47 HRB			



شکل 4.2 منحنی تغییرات سختی با فاصله گرفتن از لبه نمونه نعلی به سمت بیرون





شکل 4.3 منحنی تغییرات سختی با فاصله گرفتن از انتهای سریع سرد شده نمونه جمینی

همانطور که از نمودار مخصوص است در طبیعت دچار انحراف سریع شده، سختی بیشتر از ذوای است که به آرام و با زمان بیشتر سرد شده و ملبد است. سختی در این ذوای کمتر از ذوای سریع شده و با این اتفاق بزرگتر شکل لبی ذوای معرفولوژی های مارکنری که مام داشت این معرفولوژی ها سخت هستند. حیا در دما های بالا و دما های آفیل، عناصر آلیاژی بیشتر و بیشتر در ساختار حل شده و در هنگام سریع سرکلان قطعه ای از عناصر آلیاژی در همان جای خود و ماند یعنی قطعه دچار خوب ایجاد عناصر آلیاژی را تهدی حیا در زمان لازم بدلی نمود این عناصر به دلیل قدمت های قطعه داده شده است و به همین دلیل این معرفولوژی دارای سختی بیشتری نسبت به حالی است که نمود بیشتر در زمان طولانی تریخ داده. همانطور که میدیم سختی بیشتر مقاومت در برابر تغییر شکل پلاستیک بیش در معرفولوژی های مارکنری و با همان ذوای سریع سرد شده این سختی بالاتر می باشد. البته باید دست کرد که این عمل بدلی بین ایجادها اتفاقی افتاده مر معلم است در آنکه های هم محقق برعکس این اتفاق را داشته باشیم.

خواسته سعارة ۴

آخر قدر باشد از یک دسته بدلی آنراه لبی سختی هم خلوات نهم و هم غلزان است سخت باشد
و توان از دسته سختی سنجی و میز این طریق انجام داد چنان صلیف و سیعی از مواد را توان « میله »
از دسته آنراه لبست.

اما برای حالت بطور جداتر باشد بدلی مواد نهم توان از دسته سختی سنجی ببرند کلی لبست
چنان هم سطح این خوبی را توان در مواد نهم ایجاد نمود و هم به دلیل سطح این بزرگ تر، مسئله ناهمانگانی ساختار
ازین وجود بدلی مواد سخت هم را توان از سختی سنجی را اول استفاده کرد. چنان کارکردن با
آن هم راحت است و هم خلاصه ای افراد درین روی دیده نمی شود. در ضمن در سختی سنجی
را اول ۲ حین نوع فلورونده مخروط الفاسی هست و نیروی ۱۵۰ kg به آن وارد و سود
لیس مناسب مواد سخت را باشد.

مراجع :

کتاب هرتبرگ

جزوه آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد