نام درس: مصالح مهندسی
جلسه ۱ و ۲

مدرس: طاهر ربیع زاده

مقدمه، مواد مهم مصرفی در صنعت

- مواد در پیشرفت جوامع بشری نقش بسیار مهمی داشته اند، به طوریکه مورخین، هر دوره تاریخی را با نام یکی از موادی که در آن دوره نقش مهمی داشته است، نا مگذاری کرده اند. عصر سنگ و عصر برنز از جمله این نام گذار یهاست.

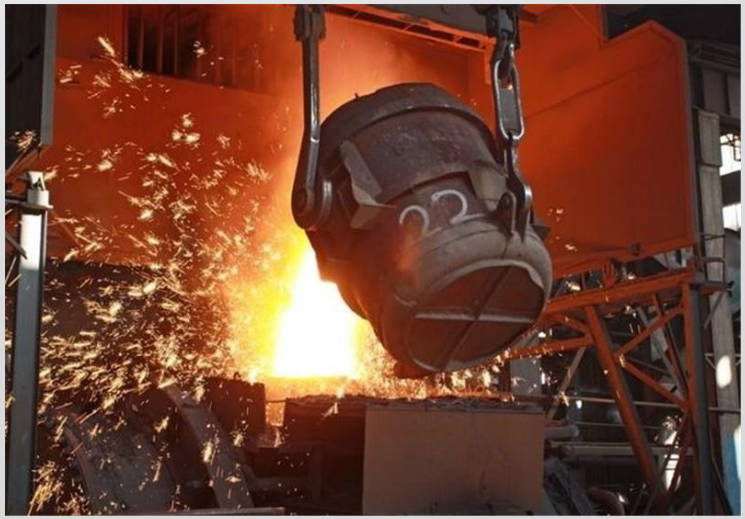
- نخستین اشیاء فلزی ساخته شده به دست انسان، اشیاء کوچک مسی چکش کاری شده ای هستند که به نیمه اول هزاره چهارم پیش از میلاد، یعنی پایان عصر سنگ باز می گردند. در این دوران انسان در طبیعت به ماده ای برخورد که هنگام ضربه خوردن نمی شکست، بلکه به علت نرمی تغییر شکل میبافت.

- از آن جا که مس خالص دارای مقاومت زیادی نیست، فلز کاران درصدد برآمدند تا آ نرا با ماد های ترکیب، و استحکام آن را زیاد کنند. با کشف قلع، عصر مفرغ آغاز شد.

- عنصرآهن به علت دیرگداز بودن، عدم چکشخواری و تغییر شکل، عملاً نتوانست در صنعت آن زمان جایی برای خود باز کند، تا اینکه با کشف را ههای تبدیل آهن به فولاد، آهن نیز برای ساخت انواع وسایل از جمله اسلحه، زیورآلات و ابزار موردنیاز انسان استفاده شد.

- در این میان فلزات گران بهایی مانند نقره و طلا از همان ابتدا به دلیل کمیابی، فسا دناپذیری و دوام، و زیبایی برای ساخت زیورآلات و تهیه مصنوعات زینتی مورد استفاده قرار گرفتند.

- در حقیقت عصر آهن با ابداع رو شهای تولید چدن و فولاد در جهان پایان یافت و هم اکنون در عصر فولاد قرار داریم. امروزه اهمیت فولاد تا بدا نجاست که میزان پیشرفت یک ملت وابستگی بسیاری به تولید فولاد و مصرف آن دارد.



- ما در جهانی زندگی میکنیم که اشیاء درآن از مواد مختلف ساخته می شود. خودروها، هواپیماها، کامپیوترها، یخچا لها، و خلاصه تمام آن چه که در اطراف خود می بینید، از مواد تولید شده اند ویژگی های خاصی لازم است تا بتوان مواد را برای کاربردهای خاص به کار گرفت و از این رو است که علم مواد از اهمیت دو چندانی برخوردار می شود.

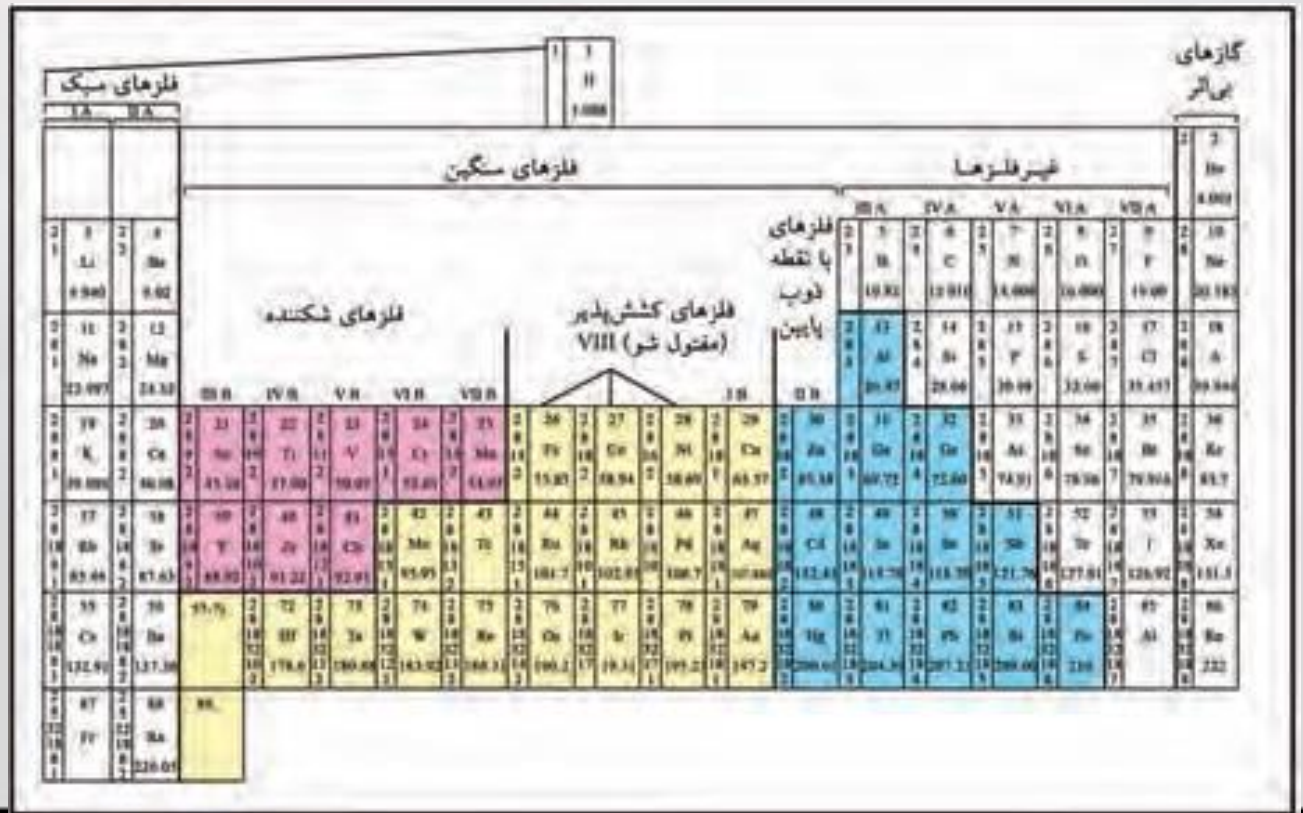
- بیشتر اوقات، مسئله اصلی در حیطه مواد، انتخاب یک ماده برای کاربردی خاص است، ولی به ندرت اتفاق می افتد که ماده انتخاب شده تمام خواص مدنظر یا اغلب آن ها را داشته باشد، لذا همواره سعی برآن خواهد بود که تعادلی میان خواص گوناگون، به نحوی که کاربرد موردنظر نیز انجام شود، برقرار گردد.

- دومین موضوع در انتخاب مواد، تغییر خواص ماده در هنگام کار و یا در مجاورت با محیط کار است، بنابراین لازم است همواره ماده در این خصوص پایداری کافی را داشته باشد. از آن جمله می توان به کاهش استحکام در اثر افزایش دما یا در محیطهای خورنده، اشاره کرد.

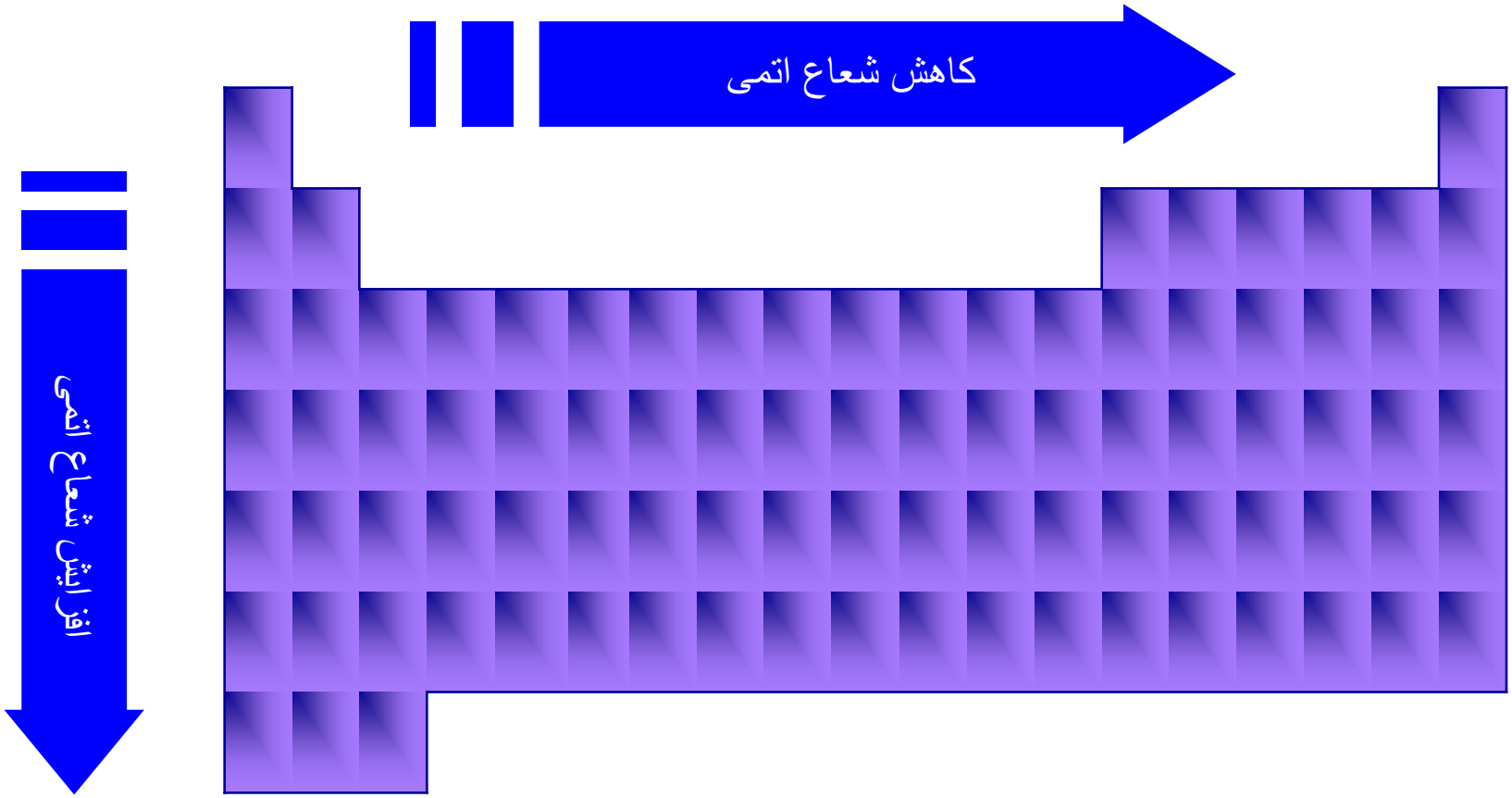
- مسائل اقتصادی نیز از موضوعات مهم در انتخاب مواد است. ممکن است ماده ای تمامی خواسته های ما را در کاربرد موردنظر برآورده سازد، ولی قیمت تمام شده آن مقرون به صرفه نباشد.

• طبقه بندی مواد

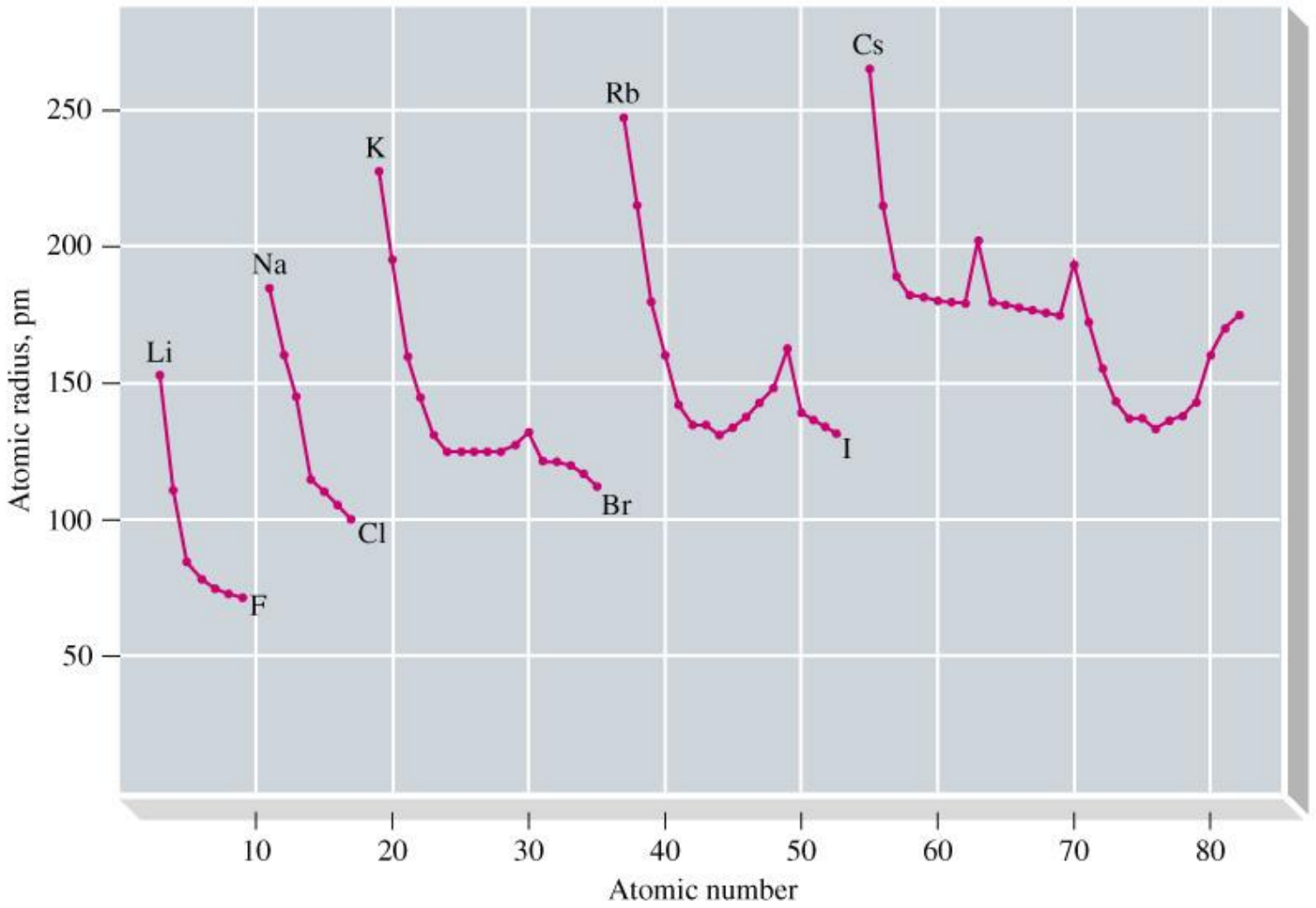
- انواع مواد مختلف را به روشهای متفاوتی میتوان طبقه بندی کرد. مواد براساس خواص شیمیایی، به سه گروه عناصر فلزی – غیر فلزی و مواد شبه فلز تقسیم بندی میشوند که در جدول تناوبی مندلیف به ترتیب عدد اتمی در کناریکدیگر قرارگرفته اند. ردیفهای افقی جدول را تناوب و ردیفهای عمودی آن را گروه می نامند.
- عناصر گروههای i و iiو iii، فلزات هستند. عناصر بین گروه iiو iii را عناصر واسطه می نامند.
- آهن به عنوان یک فلز صنعتی در گروه عناصر واسطه قرار دارد.



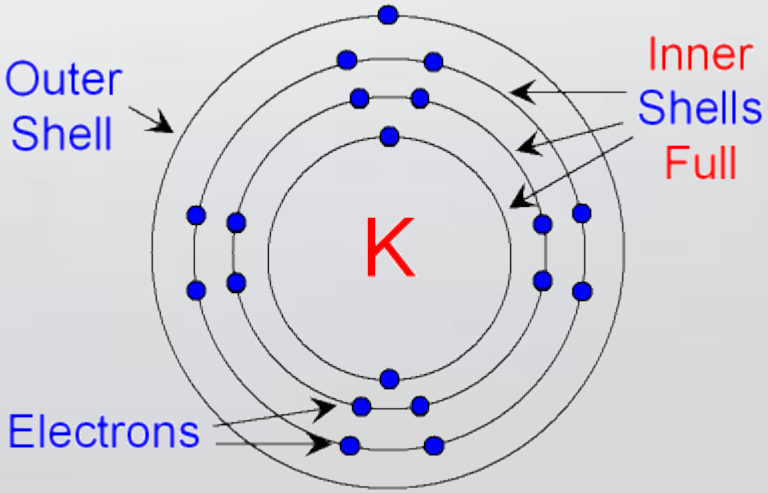
سیر تغییرات شعاع اتمی در جدول تناوبی



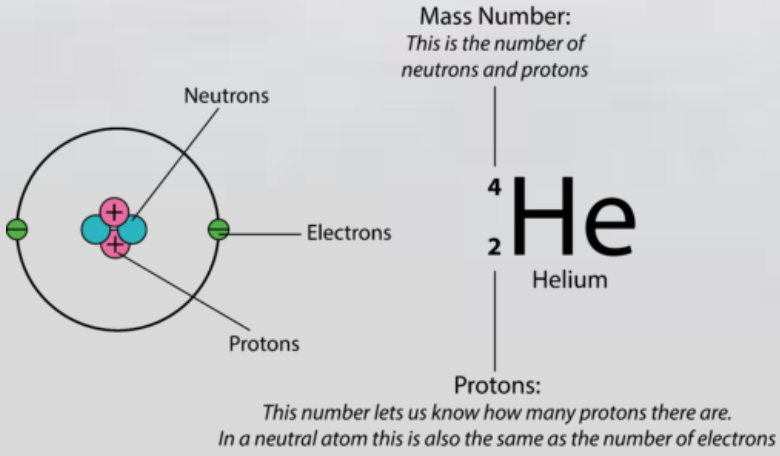
Atomic Radius

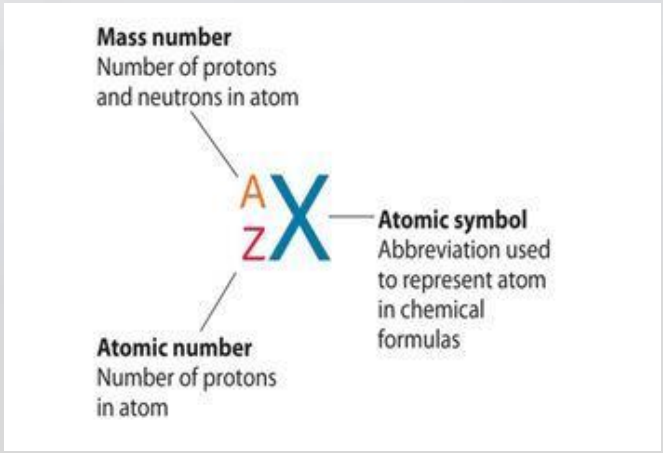


- هما نطور که می دانید اتمها از الکترون ها، نوترونها و پروتونها تشکیل شده اند. در هسته یک اتم دو ذره پروتون و نوترون وجود دارد و ذره سوم اتم، الکترون است. الکترو نها، حول هسته در مسیرهایی خاص به نام مدار می چرخند. پروتون ها دارای بار مثبت، هستند و الکترو نها بار منفی دارند، میزان بار این دو ذره با یکدیگر برابر است. نوترو نها نیز دارای بار خنثی و فاقد بار الکتریکی هستند. بیشتر عناصر در لایه آخر خود، الکترو نهای کافی جهت پایداری را ندارند و همواره سعی می کنند، الکترو نهای لایه آخر خود را یا به اتمهای دیگر قرض بدهند، یا از آن ها الکترون بگیرند و یا برای تکمیل آخرین لایه اتمی خود الکترون های خود را با اتم های دیگر به اشتراک بگذارند. به طورکلی می توان گفت الکترو نهای لایه آخر یک اتم در تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی یک عنصر، بسیار تعیین کننده است.



- گروه های پنج تا هشت را غیر فلزات تشیکل می دهند و عناصر گروه چهارم نیز شبه فلزات هستند.
- عناصر هر گروه مانند لیتیم، سدیم، و پتاسیم دارای خصوصیات شیمیایی و مکانیکی تقریباً یکسانی هستند ولی تفاوت زیادی در جرم اتمی دارند. برعکس عناصر در یک تناوب، مانند نیتروژن و کربن و اکسیژن دارای جرم یکسان ولی خواص متفاوت هستند. مواد بر اساس خواص الکتریکی به مواد رسانا، نیمه رسانا و مواد عایق تقسیم بندی می شوند.
- **جدول تناوبی عنصرهای شیمیایی**، نمایش جدولی عنصرهای شیمیایی بر پایه عدد اتمی، آرایش الکترونی و ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها است. ترتیب جایگیری عنصرها در این جدول از عدد اتمی (شمار پروتون‌های) کمتر به سوی عدد اتمی بالاتر است.
- عدد اتمیZ، اصطلاحی است که در شیمی و فیزیک برای بیان تعداد پروتون های موجود در هسته اتم به کار می‌رود. عدد اتمی اصولاً شماره محل هر اتم در جدول تناوبی است.





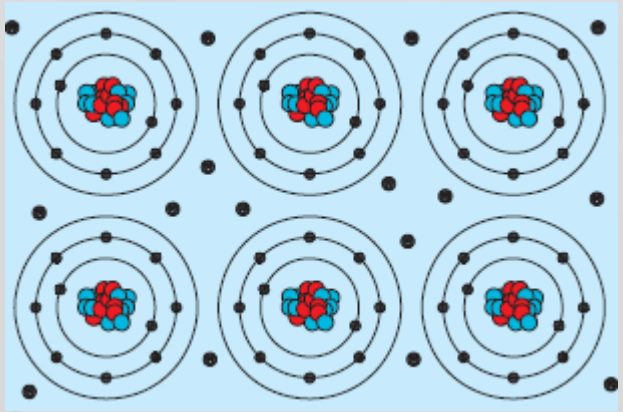
- هر ترکیب شیمیایی، از به هم پیوستن یک یا چند اتم از دو یا چند عنصرمختلف تشکیل میشود. با توجه به نوع اتم های درگیر فلزی و غیر فلزی روش های گوناگونی برای اتصال آن ها به یکدیگر وجود دارد و هر کی از انواع پیوندهایی که در ادامه به آن اشاره میشود، ویژگی خاصی در ترکیب یا ماده جدید تولید شده ایجاد میکند که این خواص در شناخت علم مواد مورد بحث است.

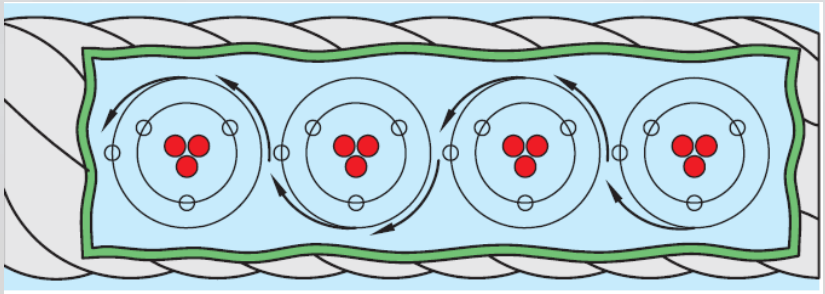
انواع پیوندها در جامدات

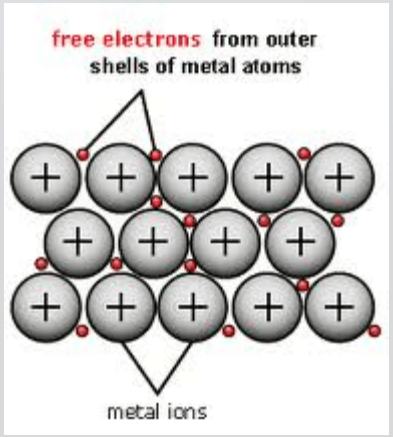
1. اتصالات اولیه:
بین اتم ها
   1. یونی
   2. کووالانتی
   3. فلزی

2. اتصالات ثانویه:
بین مولکول ها
   1. نیری واندروالسی
   2. قطبی دائم
   3. هیدروژنی

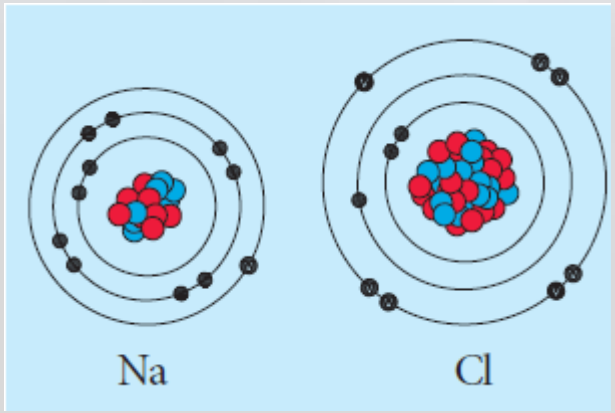
- **پیوند های فلزی:**
- بیشتر فلزات دارای یک، دو و یا سه الکترون در آخرین لایه خود هستند و پیوندی بسیار سست با هسته و اتم برقرار می سازند و بیشتر مواقع از اتم جدا می شوند. در فلزات و آلیاژهای فلزی، اتم های فلزی در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و الکترونهای لایه آخر را به راحتی میان یکدیگرتبادل می کنند، به طوری که این الکترو نها به هیچ اتمی متعلق نیستند. در بیشتر موارد، الکترون ها به دریایی تشبیه میشوند که یونهای فلزی درآن ها قرار دارند و آ نها را به سختی در کنار یکدیگر قرار داده اند. بسیاری از خواص خوب فلزات از جمله رسانایی، انتقال حرارت و هدایت جریان الکتریکی در همین دریای الکترونی ریشه دارد. هدایت الکتریکی به مفهوم تبادل الکترون ها در این دریای الکترونی به راحتی صورت می پذیرد و با اعمال اختلاف پتانسیل میان دو سر یک سیم فلزی الکترو نها جریان الکتریکی را درون سیم به جریان درمی آورد. مفهوم انتقال حرارت هم با ارتعاش اتم ها و الکترون ها همراه است. هر اندازه انرژی حرارتی بیشتری به یک قطعه سیم بدهید، اتم های آن با سرعت بیشتری حرکت می کنند و از آن جا که اتم ها در دریای الکترونی راحت تر مرتعش می شوند، لذا سرعت انتقال حرارت در بیشتر فلزات بسیار زیاد است.

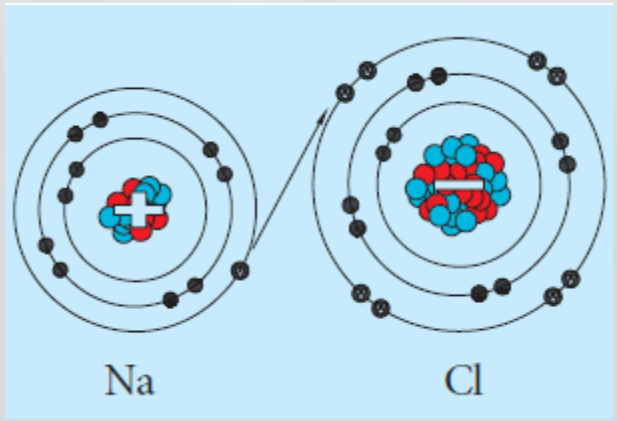


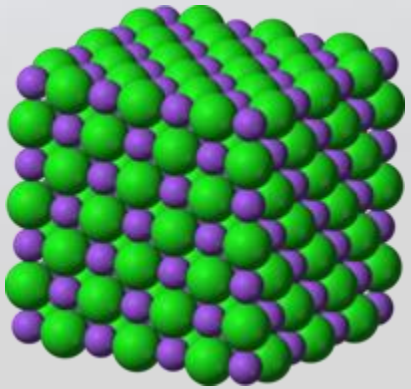




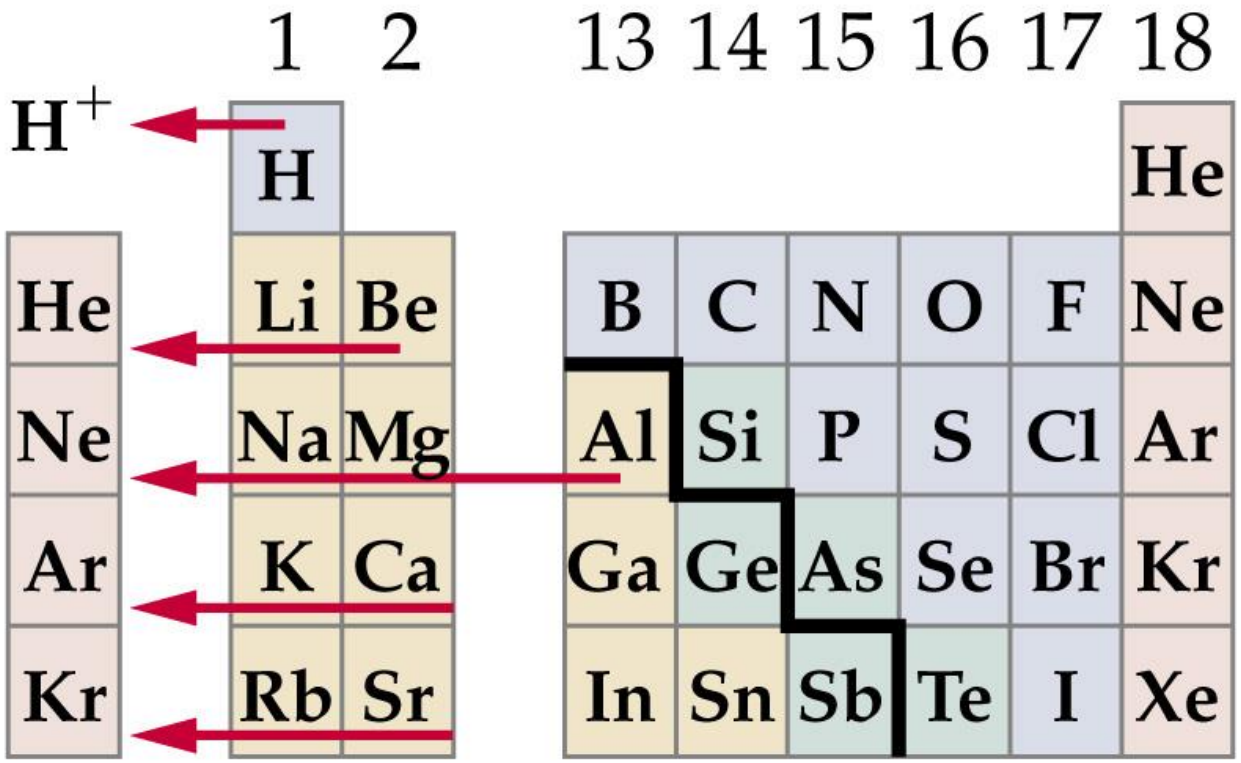
- **پیوند یونی**
- پیوند یونی ساده ترین نوع پیوند میان اتم هاست. در حقیقت پیوند یونی پیوند میان عناصر فلزی و غیر فلزی را برقرار میکند و درصورت ترکیب عناصری که در دو انتهای چپ و راست جدول تناوبی قرار دارند، با یکدیگر، ساختار جدیدی با پیوند یونی ایجاد می شود. عناصر فلزی مثل سدیم دارای فقط یک الکترون در لایه آخر خود هستند که میل چندانی به ماندن در مدار مذکور ندارند و به راحتی از اتم جدا میشوند، درحالتی که یک الکترون از اتم جدا شود، تعادل میان بارهای مثبت و منفی میان پروتون ها و الکترو نها به هم می خورد و اتم دارای بار مثبتی ناشی از وجود یک پروتون خواهد شد که به آن در اصطلاح یون مثبت گفته میشود. عکس این حالت در غیرفلزاتی مثل کلر نیز رخ می دهد. در این عناصر، اتم مایل است با جذب الکترون بیشتر، لایه آخر خود را تکمیل کند تا به اصطلاح پایدار شود (حفظ پایداری در اتم های فلزی با از دست دادن الکترون رخ میدهد). بدین ترتیب اتم مذکور با گرفتن یک الکترون، بار منفی یافته و به یون منفی بدل می شود. در نمک طعام با فرمولاسیون NaCl اتم عنصر کلر با جذب یک الکترون به یون منفی کلر، و اتم عنصر سدیم با از دست دادن یک الکترون به یون مثبت سدیم تبدیل می شود. حال به دلیل نیروی جاذبه میان دو یون مذکور، این دو یون در ساختاری جدید در کنار یکدیگر خواهند ماند. پیوند میان این دو یون از نوع پیوند یونی است و اتمهای این دو عنصر، ساختار کریستالی نمک طعام را می سازند که در شکل نشان داده شده است. پیوند یونی بیشتر در میان سرامیک ها وجود دارد. برای مثال اکسید آلومینیم با همین نوع پیوند، ساختاری بسیار سخت، شکننده و با دیرگدازی بالایی ایجاد می کند. در حقیقت بیشتر مواد، با پیوندهایی از نوع، پیوند یونی چنین خاصی تهایی را از خود بروز می دهند. مثال دیگر: MgO



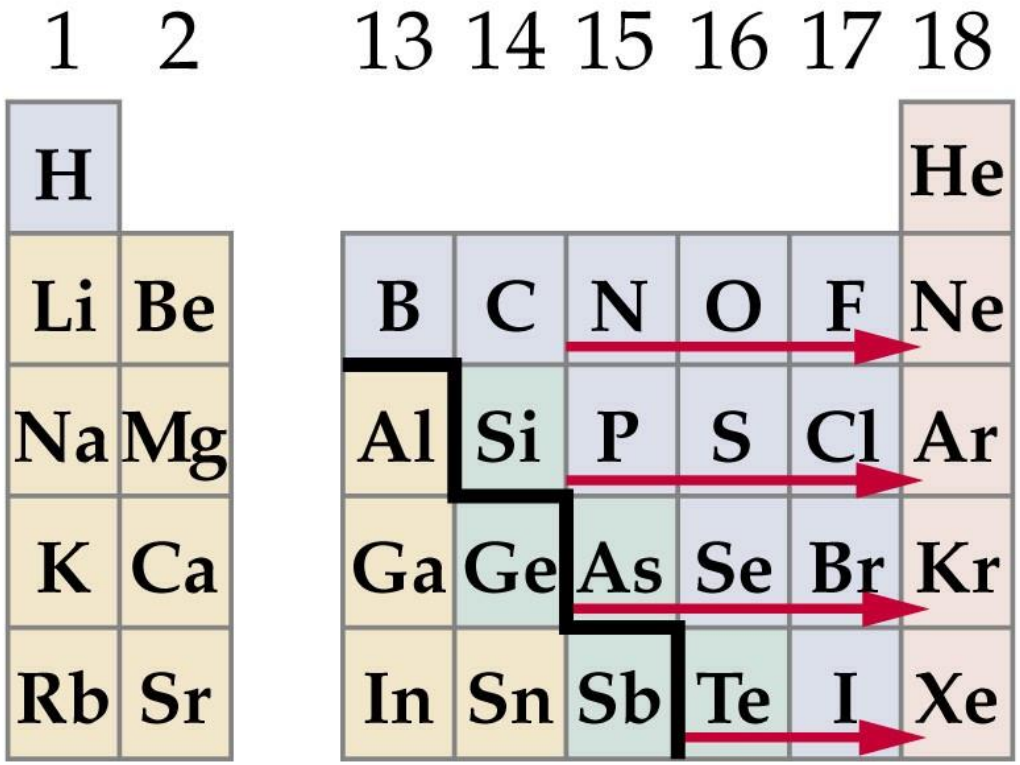




Metals Tend to Lose Electrons



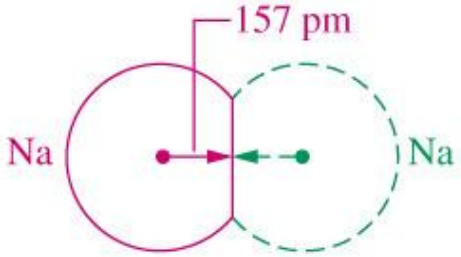
Nonmetals Tend to Gain Electrons



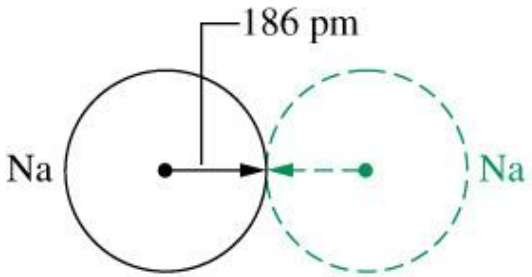
- **پیوند کووالانسی**
- نوعی پیوند است که میان غیرفلزات رخ میدهد. هما نطور که بیان شد، در غیرفلزات الکترو نهای آخرین لایه اتم به شدت به هسته اتم وابسته هستند، لذا اتمهای مذکور به منظور رسیدن به پایداری بیشتر، به جای تبادل الکترونها میان یکدیگر، آن ها را به اشتراک می گذارند. برای مثال اتم عنصر کربن دارای چهار الکترون در لایه آخر خود است و چهار الکترون دیگر جهت رسیدن به حالت پایدار نیاز دارد، بنابراین با چهار اتم هیدروژن ترکیب میشود و با ایجاد چهار پیوند کووالانسی، مولکول گاز متان را تولید میکند تا به پایداری برسد. در این اشتراک الکترون، اتمهای هیدروژن دارای دو الکترون شده و پایدار می شوند. اتم کربن هم دارای چهار الکترون گردیده و پایدار می شود. چنانچه به جای دو اتم هیدروژن، دو اتم کربن دیگر را جایگزین کنیم و این کار را ادامه دهیم، زنجیره های بلندی از کربنها و هیدروژ نها خواهیم داشت، که باعث ایجاد ساختار جدیدی می شود. از مهم ترین موادی که از چنین پیوندهایی پیروی می کنند، پلیمرها هستند که با قرارگیری، این زنجیره ها در کنار یکدیگر تولید می شوند.

The Sizes of Atoms and Ions

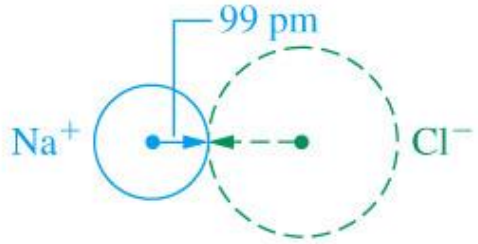
Covalent radius:



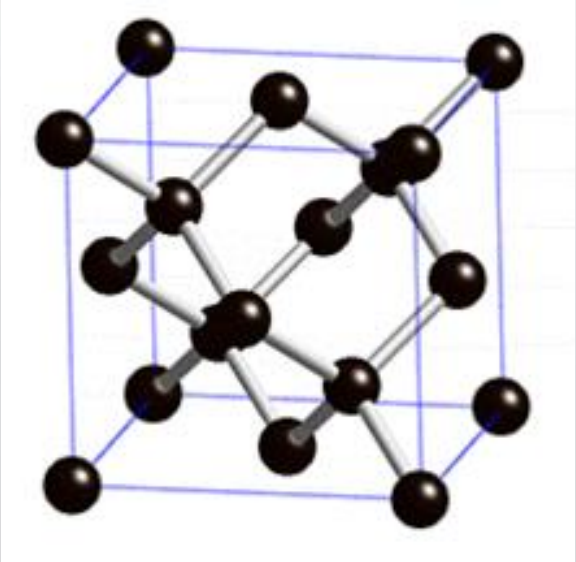
Metallic radius:



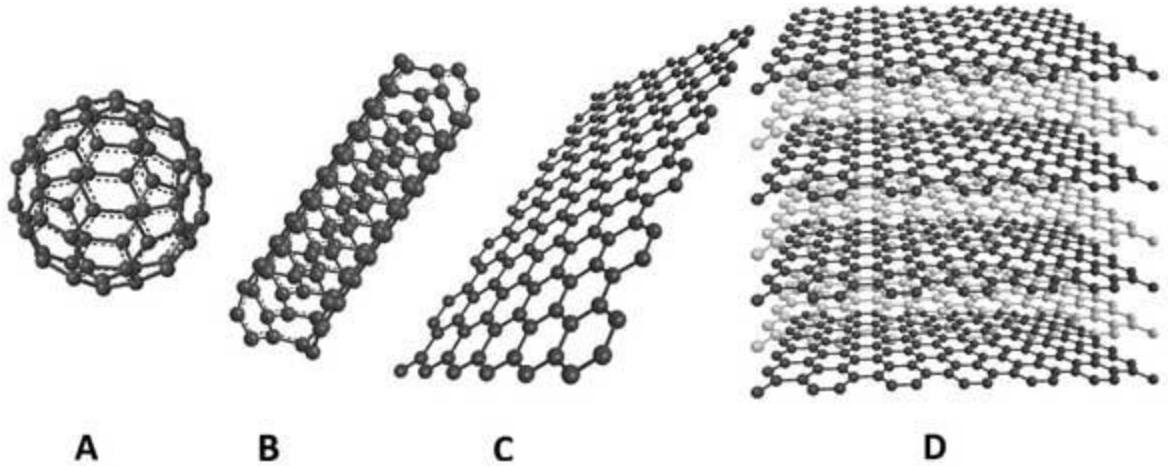
Ionic radius:



- از دیگر مثالهای پیوندهای کووالانسی میتوان به پیوندهای کووالانسی میان اتمهای کربن در ساختار الماس اشاره کرد. این پیوندها آن قدر قوی هستند که الماس را به سخت ترین ماده موجود در جهان طبیعت تبدیل کرده است. در شکل، یک ابزار تیز کن با جنس الماس برای تیز کردن مجدد سنگ ها استفاده میشود. به دلیل آنکه در پیوندهای کووالانسی، الکترو نها بسیار به هسته های اتمی مقید هستند، لذا بیشتر موادی که دارای چنین پیوندی هستند، فاقد قابلیت هدایت الکتریکی بوده و ویژگی نارسانایی بیشتر دارند.

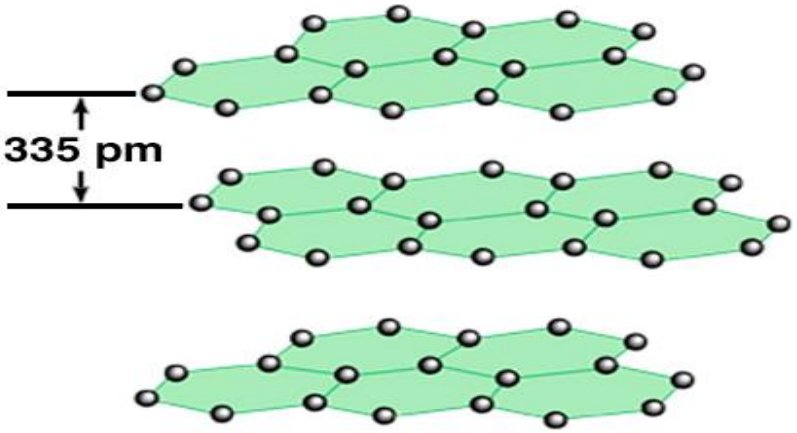


کربن و شکل های مختلف آن



- برخی از فرم های کربنی، (Aفولرن)، (Bنانولوله های کربنی، (Cگرافن و (Dگرافیت.

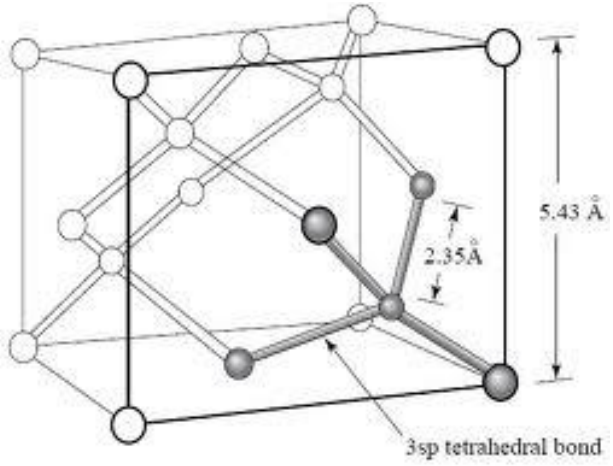
گرافیت:



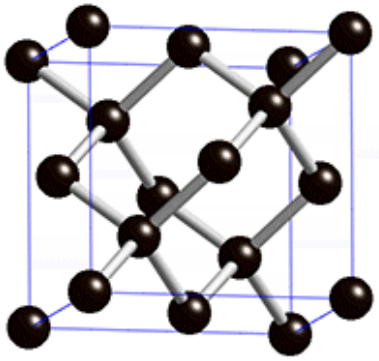
- یکی از آلوتروپ‌های (**دگرشکلی ها**)کربن است که به جهت نرم بودن و رنگ سیاهش در ساخت نوک مداد مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرافیت ساختار لایه–لایه داشته و از قرار گرفتن ۶ اتم کربن به صورت ۶ ضلعی منتظم پدید آمده است. این اتم‌ها با پیوند کوالانسی به هم متصلند و نمی‌توانند با کربنی خارج از این لایه پیوند کوالانسی تشکیل دهند، بنابراین یک لایه گرافیت از طریق پیوند واندروالس –که پیوند ضعیفی است– به لایه‌های زیرین متصل است. این خاصیت سبب می‌شود لایه‌های گرافیت به راحتی به روی هم بلغزند. به همین دلیل از این ترکیب برای «روان کاری» و «روغن کاری» استفاده می شود. از گرافیت به عنوان الکترودهای کوره، روان کننده، ماده نسوز، قطعات الکتریکی، رنگ‌ها، فولادهای پرکربن، چدن‌ها، مداد گرافیتی و ... استفاده می‌شود. گرافیت بر خلاف الماس (دیگر آلوتروپ کربن) هادی جریان الکتریکی‌ست. گرافیت پایدارترین شکل کربن در شرایط استاندارد است.

ساختار کریستالی الماس

کی از سنگ‌های قیمتی و یکی از آلوتروپهای کربن است که در فشارهای بالا پایدار است.
الماس بطور طبیعی تحت فشارهای زیاد اعماق زمین و در زمانی طولانی شکل می‌گیرد اما در آزمایشگاه می‌توان به کمک دو فرایند مجزا در زمانی بسیار کوتاهتر الماس تولید کرد. فرایند فشار بالا _ دما بالا (HP HT)اساساً تقلیدی است از فرایند طبیعی شکل گیری الماس در حالی که فرایند رسوب گیری بخار شیمیایی (Chemical Vapor (Deposition، دقیقاً خلاف آن عمل می‌کند. در واقع CVDبجای وارد کردن فشار به کربن برای تولید الماس با آزاد گذاشتن اتمهای کربن به آنها اجازه می‌دهد با ملحق شدن به یکدیگر به شکل الماس در آیند.

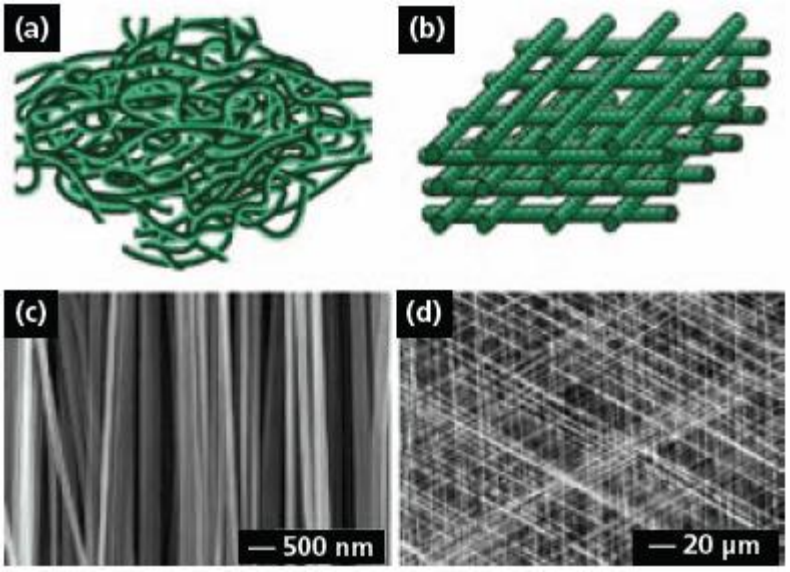


از جمله کاربرد های مهم تجاری الماس می توان به عنوان سنباده برای سایش و پرداخت فلزات و به عنوان یک پوشش برای ابزارهای برش نام برد.



- **۷-۱- نانوالیاف کربنی (Carbon Nano-Fibers-CNFs)**

نانوالیاف کربنی، نانوساختارهای استوانه ای با لایه های گرافن می باشند که به صورت های مخروط انباشته (Stacked Cones)، فنجان (Cups)، و یا صفحات (Plates)و بدون هسته ی توخالی (NoHollow Core)، مرتب شده اند. VGCFs (فیبر کربن رشد یافته از بخار) و انواع کوچکتر آنها بعلت پتانسیل آنها برای پیشرفت خواص حرارتی، الکتریکی، محافظ فرکانس و مکانیکی توجه زیادی را به خود معطوف کرده اند. این مواد به طور گسترده در سیستم های مختلف مانند کامپوزیت ها مورد استفاده قرار می گیرند که به دلیل خواص استثنایی و قیمت پائین آنها می باشد.



طبقه بندی مواد

- انواع مواد مختلف را به روشهای متفاوتی می توان طبقه بندی کرد. مواد براساس خواص شیمیایی، به سه گروه عناصر فلزی – غیر فلزی و مواد شبه فلز تقسیم بندی می شوند.

• فلزات

- آهن، آلومینیم، مس، نیکل، روی ، منگنز، وانادیم، فولاد و برنج از جمله فلزات و آلیاژهای متداول در صنعت هستند. آلیاژ، ماده ای است با خواص فلزی و تشیکل شده از دو یا چند عنصر شیمیایی که حداقل یکی از آنها فلز است. فولاد و برنج از جمله آلیاژهای مورد استفاده در صنعت هستند. زیرا فلزات در صنعت به ندرت به صورت خالص استفاده میشوند و برای بهبود خواص آنها، معمولاً عناصر فلزی را با یکدیگر و یا با عناصر غیر فلزی، آلیاژسازی می کنند. فلزات دارای خواص الکتریکی، حرارتی، مکانیکی بسیار خوبی هستند.

- اهمیت وزن قطعات در ماشین آلات تا آنجا اهمیت یافته که فلزات را به دو گروه فلزات سنگین و سبک تقسیم کرده اند

- خواص فلزات
- خواص فیزیکی
- *در دمای اتاق جامد است.
*براق است و می تواند صیقل داده شود.
*فلزات را می توان به ورقه های نازک مسطح کرد. این خاصیت چکش خواری نامیده می شود.
*فلزات را می توان به صورت سیم های نازک درآورد. این خاصیت قابلیت مفتول شدن نامیده می شود.
*رسانای خوبی برای جریان الکتریسیته است. بنابراین رسانا نامیده می شود.
*وزن زیادی دارد.
*استحکام کششی بالایی دارد.
*مات است.
*چگالی زیادی دارد زیرا، اتم ها فاصله ی کمی از هم دارد.
*هنگام ضربه زدن صدایی شبیه زنگ از خود ایجاد می کند.
*نقطه ذوب و جوش بالایی دارد.

خواص شیمیایی

- *در واکنش شیمیایی، الکترون خود را از دست می دهد و کاتیون های بار مثبت ایجاد می کند.
*الکتروپوزیتیو است و به عنوان عامل کاهنده ی خوب در نظر گرفته می شود.
*در واکنش با اسید های رقیق، گاز هیدروژن آزاد می کند.
*ترکیب کلرید و هیدرید تشکیل شده توسط فلزات جامد است.
*تمایل به واکنش با غیرفلزات دارد.

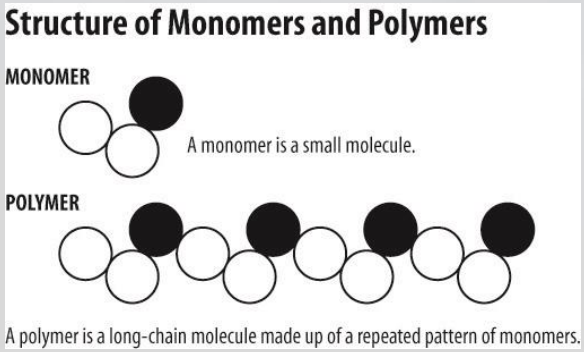
۱۰ فلز با ارزش دنیا را بشناسید

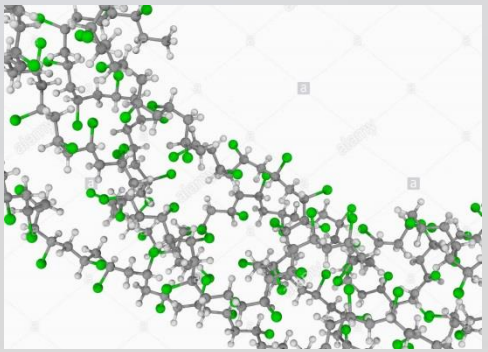
- ایندیوم – Indium
- نقره – Silver
- رنیوم – Rhenium
- پالادیم – Palladium
- اسمیم – Osmium
- ایریدیم – Iridium
- روتنیم – Ruthenium
- طلا – Gold
- پلاتین – Platinum
- رودیم – Rhodium

- **غیر فلزات**
- **سرامیکها**
- سرامیکها، از ترکیب شیمیایی فلزات با تعدادی از عناصر غیرفلزی تشکیل می شوند. موادی مانند اکسیدها، نیتریدها و کاربیدها از سرامیکهای مرسوم هستند. سرامیکها کاربردهای فراوانی در زندگی ما دارند. به عنوان مثال می توان به سفال – چینی، شیشه، سیمان اشاره کرد. شکنندگی و سختی زیاد و عایق بودن حرارتی و الکتریکی از خواص سرامیکها است. همچنین سرامیکها در برابر حرارتهای بسیار زیاد و محیطهای به شدت خورنده، مقاومت زیادی دارند. سرامیکها می توانند شفاف یا مات باشند و عده ای از آ نها هم دارای خواص مغناطیسی هستند. مثال: Al_2O_3، Si_3N_4، SiC

پلیمر ها

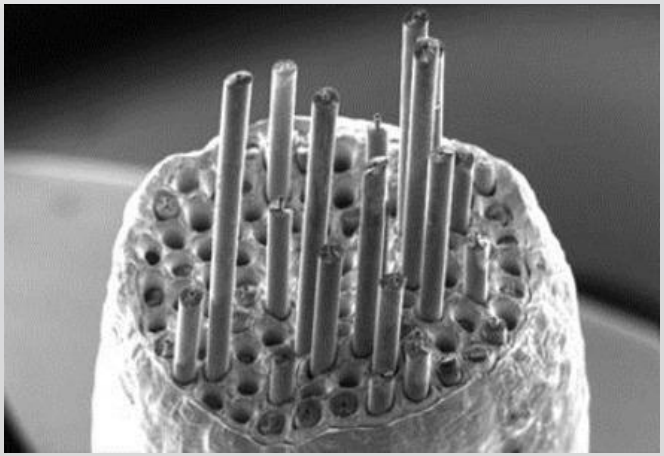
- پلیمر ها از زنجیرهای بلند کربنی به نام منومردر کنار یکدیگر به وجود می آیند.
- این مواد شامل گروه اصلی پلاستیکها و لاستیکها هستند. تعداد زیادی از پلیمرها دارای پایه آلی هستند، مانند لاستیک که از صمغ نوعی درخت خاص تهیه می شود. از پلیمرهای بسیار رایج می توان به پلی اتیلن PE، نایلون و پلی وینیل کلراید PVC اشاره کرد. چگالی کم، مقاومت در مقابل خوردگی و پایداری شیمیایی از جمله خواص پلیمرها به شمار می آیند.
- بیشتر این مواد دارای چگالی کمی هستند و خواص منحصربه فردی دارند. از جمله این خواص، نسبت استحکام به وزن آ نهاست که باعث میشود در شرایط یکسان این نسبت در آ نها بسیار بهتر از فلزات و حتی سرامیکها باشد.
- پلیمرها به راحتی به اشکال پیچیده تر درمی آیند، زیرا در دمای زیاد، خاصیت جاری شدن این مواد به شدت افزایش میی‌ابد و امکان قالبگیری آ نها را در فر مهای مختلف فراهم می سازد. بیشتر این مواد در محیطهای خورنده بی اثر هستند و خواص شیمیایی خود را به خوبی حفظ می کنند، ولی مقاومت حرارتی آ نها کم است و همین امر استفاده از آ نها را محدود میسازد. به علت عایق بودن پلیمرها در برابر جریان الکتریسیته، از آ نها برای جلوگیری از عبور جریان برق در تجهیزات گوناگون استفاده میشود.





کامپوزیتها

- در کاربردهای مهندسی، امکان استفاده از یک نوع ماده که همهٔ خواص مورد نظر را فراهم کند، وجود ندارد. به عنوان مثال، در صنایع هوافضا، به موادی نیاز است که ضمن داشتن استحکام بالا، سبک بوده و مقاومت به خوردگی و سایش بالا داشته باشد. کامپوزیت ها، موادی چندجزئی هستند که خواص آن در مجموع از هر کدام از اجزاء بهتر است ضمن اینکه اجزای مختلف خواص خود را نیز حفظ میکنند و کارایی یکدیگر را بهبود می بخشند. معمولاً کامپوزیتها از یک جزء زمینه ویک جزء تقویت کننده تشکیل شده اند. کامپوزیت ها به سه دسته کامپوزیتهای زمینه فلزی، سرامیکی، پلیمری تقسیمبندی می شوند.



- ازمرسوم ترین و پرکاربردترین کامپوزیتها، فایبرگلاس است. فایبر گلاس کامپوزیت با زمینه پلیمری است که توسط الیاف شیشه تقویت شده است.الیاف شیشه، استحکام زمینه پلیمری را افزایش می دهند. این کامپوزیت، انعطافپذیری خوبی در طراحی قطعات دارد. از خواص دیگرآن نسبت استحکام به وزن بالای آن و مقاومت به خوردگی خوب آن است.
- انواع پروفیلهای ساختمانی، انواع کانال مخصوص عبور سیم و لوله از کاربردهای فایبرگلاس است. در کامپوزیتهای الیاف کربن، الیاف کربن به دلیل داشتن خواص مکانیکی برجسته مانند استحکام و چقرمگی بالا، سبکی، مقاومت به خوردگی به عنوان تقویتکننده در ساخت کامپوزی تها به کار می رود. کامپوزیت های الیاف کربن در صنعت ساختمان برای کاهش وزن ساز ها، لوازم ورزشی، صنعت خودرو و هواپیما و قطارها مورد استفاده قرار می گیرد.

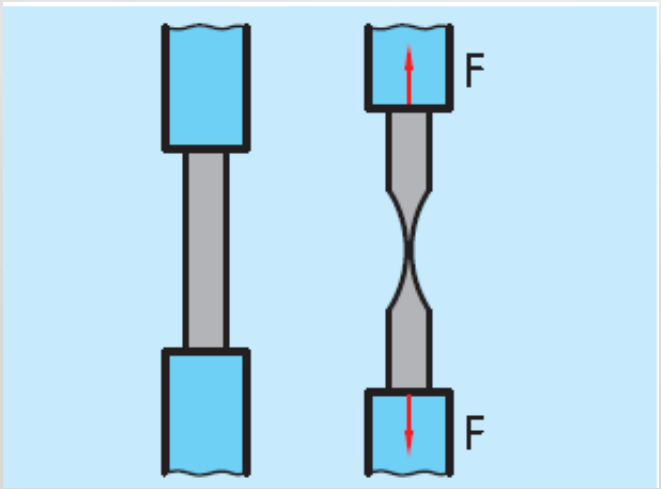
خواص مواد

- شاید تا به حال از خود پرسیده باشید که چرا مواد مختلف با هم متفاوتند؟ چرا برخی از آ نها محکمتر از سایرین هستند؟ چرا یک ماده را به شکلهای مختلف میتوان در آورد و برخی دیگر را نه؟ چرا برخی مواد رسانا و برخی نارسانا هستند؟

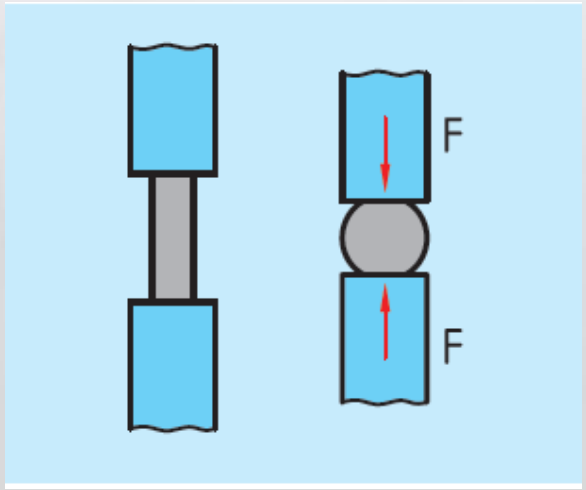
- ساختار مواد، ارتباط بین اتمها و یونها، مولکولهای تشکیل دهندۀ آن ماده را مشخص میکند و پیوندهای شیمیایی، نحوۀ اتصال میان اتمها و یون ها را نشان می دهد. اگر در نحوۀ اتصال ، نوع پیوند، متفاوت باشد مسلماً خاصیت ماده نیز متفاوت خواهد بود. بنابراین نوع پیوند بین اتمها، یکی از عوامل تعیین کنندۀ خواص مواد است. خواص مواد به چهار دسته شامل خواص شیمیایی، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی و خواص تکنولوژیکی تقسیم میشوند.

خواص مکانیکی

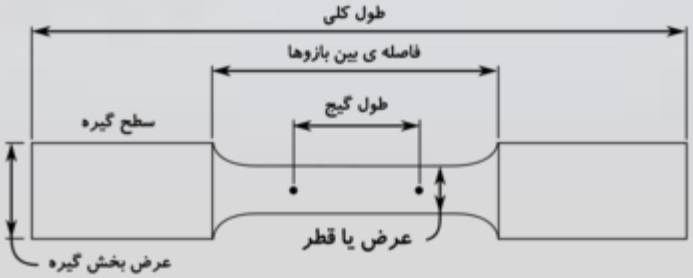
- در علم مهندسی، قطعات طوری طراحی میشوند که بتوانند نیروهای مختلفی را تحمل کنند. اعمال نیرو و میزان آن تا جایی ادامه می یابد که قطعه یا جزء موردنظر به تغییر شکل دائم و یا شکست نرسد. رابطه میان نیرو و تغییر شکل را بیشتر توسط خواص مکانیکی مواد می سنجند.
- یکی از مهمترین مفاهیمی که در شناخت خواص مکانیکی مواد اهمیت دارد، تنش نامیده میشود. مفاهیم تنش و فشار در رابطه تنگاتنگی با یکدیگر قرار دارند. در حقیقت تنش، از تقسیم مقدار نیرو بر واحد سطح در یک ماده جامد به دست می آید. واحد تنش نیوتن بر متر مربع است که با پاسکال Pa نشان داده میشود.تنشی که باعث می شود تا جسم کشیده شود، تنش کششی، و تنشی که موجب کوتاه تر شدن طول جسم میشود را تنش فشاری می نامند.



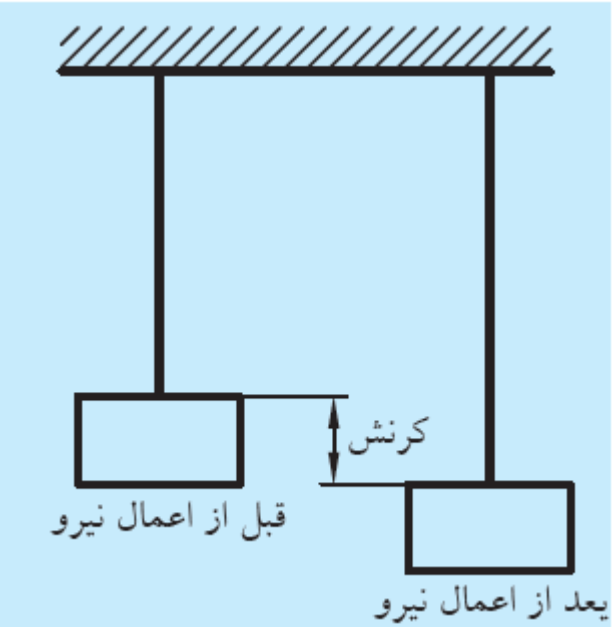
تنش کششی

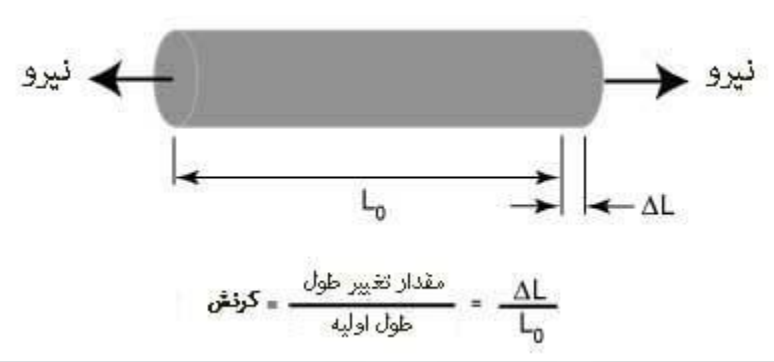


تنش فشاری


طول کلی
فاصله ی بین بازوها
طول گیج
سطح گیره
عرض یا قطر
عرض بخش گیره

- در حقیقت تمام مواد جامد موجود در طبیعت در اثر اعمال نیرو دچار تغییر طو لهای کوچک یا بزرگ می شوند. البته این تغییر شکل در بسیاری از آن ها غیر قابل مشاهده است. میزان تغییر ابعاد را تغییر شکل یا به اصطلاح کرنش می نامند.
- در یک ماده مشخص به ازای هر کرنش یک تنش وجود دارد. در حقیقت،کرنش اندازه تغییر شکل حاصل از اثر نیرو را به ما نشان می دهد.





- **استحکام**
- استحکام عبارت است از میزان مقاومت یک جسم در برابر تغییر شکل، بدون آنکه دچار شکست شود. در این رابطه استحکام فشاری و کششی از مهمترین مفاهیمی هستند که مورد بررسی قرار میگیرند. استحکام کششی به بیان میزان مقاومت یا توانایی جسم در تحمل نیروهای کششی، بدون آ نکه گسستگی رخ دهد، گفته میشود. امکان افزایش استحکام کششی از طریق آلیاژسازی و عملیات حرارتی به وجود میآید. استحکام فشاری نیز به طور معکوس به میزان توانایی یک جسم در تحمل نیروهای فشاری، بدون آ نکه شکسته شود، اطلاق می شود. جدول زیراستحکام کششی تعدادی از مواد را نشان می دهد.

ماده	استحکام (Mpa)
چوب	۲ تا ۱۲
پلیمرها	۶۰ تا ۱۰۰
آلومینیم و آلیاژهای آن	۱۰۰ تا ۶۰۰
مس و آلیاژهای آن	۸۰ تا ۱۰۰۰
آهن و فولاد کربنی	۲۵۰ تا ۱۳۰۰
فولادهای عالی	۵۰۰ تا ۱۸۰۰

- **سختی**
- میزان مقاومت یک ماده در برابر نفوذ اجسام خارجی را سختی آن می نامند و هرچقدر سختی یک ماده بیشتر باشد، مقاومت به نفوذ آن نیز بیشتر خواهد بود. سختی رابطه مستقیمی با استحکام دارد، بهطوریکه هر چقدر سختی بیشتر شود، استحکام نیز افزایش خواهد یافت. از طرفی میتوان انتظار داشت که ماده سخت به راحتی در مواد دیگری که دارای سختی کمتری از آن هستند، فرو رود. در میان مواد، الماس به دلیل داشتن پیوندهای کووالانسی قوی میان اتمهای سازنده آن که همان کربن است، سختترین ماده است. سختی مواد را به روشهای متفاوتی اندازهگیری میکنند. این روشها عبارتند از: روش برنیل، وکیرز و راکول. تفاوت این آزمونها بیشتر در نوع و شکل فرورونده دستگاه تست سختی سنج است.

- می توان آزمون های موجود را به سه دسته کلی تقسیم بندی نمود :
- – آزمون سختی الاستیک Elastic Hardness Testسختی برگشت یا انعکاس
- – آزمون سختی خراش Scratch Hardness Testمقاومت در برابر برش یا سایش – آزمون سختی فرورفتگی Penetration Hardness Testمقاومت در برابر فرورفتگی

- ۱- **آزمون سختی الاستیک** Elastic Hardness Test :
- دراندازه گیری سختی به این طریق، معمولاً ساچمهء سختی از فاصله ای معین بر سطح فلز مورد آزمون می افتد و با توجه به ارتفاع برگشت ساچمه که خود نشانگر میزان انرژی جذب شده توسط سطح فلزات است ، سختی فلز تعیین می شود.دستگاه اسکلروسکوپ را که متداول ترین دستگاه آزمایش سختی دینامیک است و سختی را بر حسب ارتفاع بازگشت ساچمه اندازه می گیرد.

- ۲- **آزمون سختی خراش** (Scratch Hardness Test : مقاومت در برابر برش یا سایش)

- این روش آزمون از اولین روشهای بررسی سختی اجسام می باشد، که توسط زمین شناس معروف، موس ۱ بنیان نهاده شده است. این روش بر اساس رده بندی کانیهای مختلف بر اساس توانائیهای هر یک در ایجاد خراش بر روی دیگری است. بدین ترتیب جسم سخت تر قابلیت ایجاد خراش بر روی جسم نرم تر را دارا می باشد. بر اساس این اصل می توان جدولی تهیه نمود که در آن نرمترین کانی با شماره ۱ تالک بوده و سخت ترین آن با شماره ۱۰ الماس است. مزیت این روش سهولت آن بوده و یک دید سریع به کارشناسان می دهد. آزمون سختی موس در بین زمین شناسان بسیار رایج بوده لکن استفاده عملی در مباحث مهندسی ندارد. عیب بزرگ این روش حدودی بودن آن و عدم یکنواختی بین مقیاسهاست . عدد سختی مواد مختلف در مقیاس موس در جدول ۱ آورده شده است.
- اگر یک ماده نامشخص با شماره ۶ خراشیده شود ولی با شماره ۵ خراشیده نشود، سختی آن بین ۵ و ۶ خواهد بود. بزرگ ترین عیب این روش آنست که مقیاس سختی یکنواخت نیست.

جنس ماده	عدد	جنس ماده	عدد
اورتز	۶	تالک	۱
کوارتز	۷	ژیپسیت	۲
توپاز	۸	کلسیت	۳
کروندوم	۹	فلورین	۴
الماس	۱۰	آپاتیت	۵

- **۳- آزمون سختی فرورفتگی : Penetration Hardness Test**
-
- این آزمون و روش های مختلف آن از مهم ترین ابزارهای مهندسی به شمار می آیند. در این آزمون که به آزمون سختی نفوذ نیز موسوم می باشد، میزان سختی را بوسیله مقاومت جسم در مقابل فرورونده می سنجند. بطور کلی عدد سختی، عدد و ارزشی است که در روشهای مختلف این آزمون بدست می آید و حدود زیادی با یکدیگر و بااستحکام کششی نهایی تا فلزات غیر شکننده متناسب است.
- در این روشها با فروبردن یک فرورونده (ساچمه، هرم یا مخروط های سخت فولادی) و گودکردن جسم، سختی آن را از روی عمق فرورفتگی یا عرقچین حاصله اندازه گیری می کنند. چهار روش متداول برای انجام آزمایش سختی فرورفتگی یا سختی نفوذی وجود دارد که عبارتند از :
- الف) آزمون سختی برینل Brinell Hardness test
- ب) آزمون سختی راکول Rockwell Hardness test
- ج)آزمون سختی ویکرز Vickers Hardness test
- د) آزمون ریزسختی Microhardness Hardness test

سختی برینل :از معیارهای سختی است که بر اساس مقاومت مواد در برابر فرورونده کروی شکل از جنس فولاد یا کاربید تنگستن به قطر ۱۰ میلی متر سختی آن‌ها را تعیین می کند. سختی مواد در این روش به صورت زیر محاسبه می‌شود: عدد سختی برینل (کیلوگرم بر میلی مترمربع)، Pمقدار بار اعمال شده (به کیلوگرم)، Dقطر ساچمه (میلی متر) و dقطر حفره ایجاد شده به میلی متر می باشد.

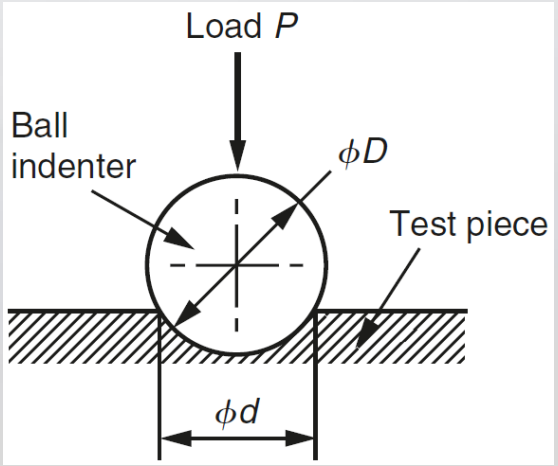
قطعه نمونه را بر روی سندان قرار داده و سندان را بالا می برند به طوری که یا ساچمه مماس شود. پمپ نمودن روغن به داخل سیلندر اصلی، سبب اعمال یک نیروی رو به پایین به پیستون اصلی دستگاه و در نتیجه فشار وارد آوردن بر روی ساچمه می شود. این فشار باعث فرو رفتن ساچمه بر روی سطح قطعه مورد آزمایش می گردد.

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 نازک که احتمالاً عمق حفره ایجاد شده بیشتر از ضخامت قطعه باشد، این روش مناسب نمی باشد. ضخامت قطعات نمونه جهت آزمایش نبایستی کمتر از ده برابر عمق حفره

تا درجه سختی 400 BHN مناسب است و برای فلزاتی با سختی بالاتر از 500 BHN توصیه نمی شود.

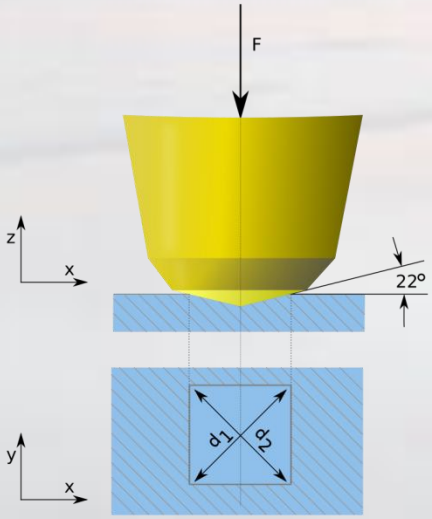
$$\mathrm{BHN} = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

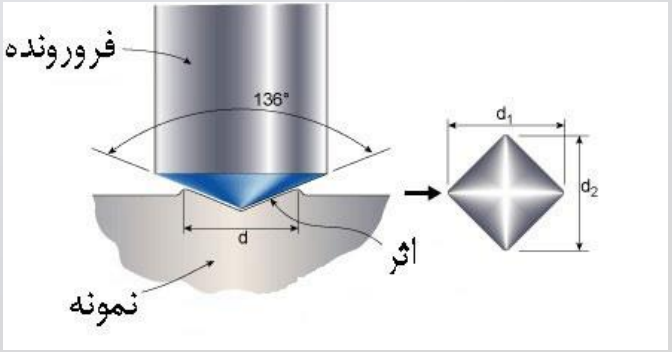
P is the applied load of 3000, 1500, or 500kg.

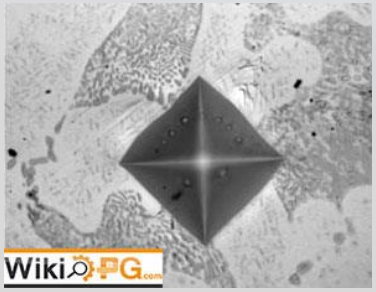


- **سختی ویکرز**: از معیارهای سختی است که بر اساس مقاومت مواد در برابر فرورونده هرمی شکل از جنس الماس سختی آنها را تعیین می کند. فرورونده بکار رفته در این روش، الماس هرمی با قاعده مربع شکل است که سطوح مقابل آن با زاویه ۱۳۶ درجه به یکدیگر می‌رسند. مقدار سختی ماده پس از آزمایش توسط رابطهزیر بدست می آید.
- واحد سختی ویکرز کیلوگرم نیرو بر میلی‌متر مربع است و مقادیر حاصل بصورت xxxHVyy گزارش می‌شوند که xxx میزان سختی و yy نیروی اعمال شده بر فرورونده است.
- P= بار وارده بر حسب کیلوگرم
- L= میانگین طول قطرها بر حسب میلی متر
- θ= زاویه میان وجوه مقابل الماس (۱۳۶°)

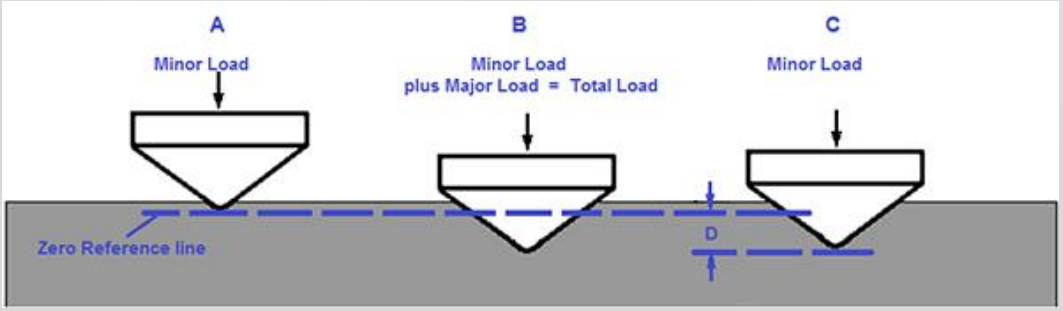
$$DPH=\frac{2P\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2}=\frac{1.854\,P}{L^2}$$







- **سختی راکول**: یکی از معیارهای سختی است که بر اساس مقاومت مواد در برابر فرورونده با اعمال بار بزرگتر در مقایسه با بار اولیه سختی آنها را تعیین می کند.
- در روش سختی سنجی راکول ابزاری وجود دارد که با استفاده از آن می توان سختی را مستقیماً خواند. اساس کار این روش اندازه گیری اختلاف عمق نفوذ در ماده است. متداولترین آزمون سختی در ایالات متحده آزمایش راکول بوده است. دلیل این امر سرعت، عدم امکان بروز خطا از طرف شخص، قابلیت تشخیص تغییرات کوچک سختی در فولاد سخت شده و کوچک بودن اندازه فرورفتگی است به طوری که قطعات عملیات حرارتی شده نهایی می توانند بدون صدمه دیدن آزمایش شوند.
- همان طور که گفته شد، در این آزمایش از عمق فرورفتگی تحت بار ثابت به عنوان مقیاسی برای سختی استفاده می شود. ابتدا یک نیروی اولیه اعمال می شود. سپس بار اصلی وارد شده و عمق فرورفتگی به طور خودکار ثبت می شود. سپس بار اصلی از روی قطعه برداشته شده و تا نیروی اولیه کاهش داده می شود.
- عموما دو نوع سختی سنجی راکول وجود دارد. نوع معمولی که برای مقاطع نسبتا ضخیم و نوع سطحی که برای مقاطع نازک به کار می رود. بار اولیه در سختی سنج راکول معمولی ۱۰ Kgو در سختی سنج سطحی ۳ Kgمی باشد.
- در روش راکول انواع فرو رونده و نیروهای مختلف را می توان به کار برد و هر ترکیب از این دو معرف مقیاس راکول مخصوصی است. در اکثر موارد برای اندازه گیری سختی فلزات از سه روش زیر بیشتر استفاده می شود:
- راکول : A
- که نیروی ۶۰ کیلوگرم را اعمال می کند
- راکول : B
- که نیروی ۱۰۰ کیلوگرم را اعمال می کند
- راکول : C
- که نیروی ۱۵۰ کیلوگرم را اعمال می کند



معیارهای مختلف راکول [1]

معیار	مخفف	بار	فروروند	کاربرد
A	HRA	kgf 60	مخروط الماسی 120°	فولادهای نازک و سخت‌کاری سطحی شده
B	HRB	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/16 اینچ	آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای مس و فولادهای نرم
C	HRC	kgf 150	مخروط الماسی 120°	فولادهای سخت، آلیاژهای تیتانیوم
D	HRD	kgf 100	مخروط الماسی 120°	آهن مالیبل برلیتی
E	HRE	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/8 اینچ	چدن، آلیاژهای آلومینیوم منیزیم
F	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/16 اینچ	آلیاژهای مس آنیل‌شده
G	HRG	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/16 اینچ	برلیم-مس، آهن‌های مالیبل
H	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/8 اینچ	آلومینیوم، روی، سرب
K	HRF	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/8 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
L	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/4 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
M	HRF	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/4 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
P	HRF	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/4 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
R	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/2 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
S	HRF	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/2 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
V	HRF	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/2 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک

- **شکل پذیری**
- توانایی یک ماده در تغییرشکل بدون شکسته شدن را شکلپذیری میگوییم. در حقیقت رابطه مستقیمی میان ازدیاد طول و شکل پذیری وجود دارد و هر مادهای که بتواند در برابر نیروهای وارده افزایش طول بیشتری داشته باشد را ماده شکل پذیر نرم میگوییم. موادی را که در برابر تغییرشکل مقاومت ندارند و به سرعت می شکنند، ترد می نامیم. شیشه از بارزترین مثالهای مواد ترد است.
- در تصادف میان دو خودرو بدنه آ نها خرد نمی شود، بلکه دچار تغییر شکل می شود، چرا که فلزات موادی شکل پذیرند. فولادها، تا یک پنجم طول خود قابلیت ازدیاد طول دارند و این درحالی است که چدن تنها یک درصد ازدیاد طول را تحمل می کند.
- ترموپلاستیکها که خانواده ای از پلیمرها هستند، می توانند تا پنج برابر طول خود کشیده شوند، بنابراین مواد بسیار شکلپذیری به حساب می آیند. با توجه به جدول می توان دریافت که چرا برای تولید قطعات ظریف که به استحکام چندانی نیاز ندارند، ترجیح می دهند از مس و آلیاژهای آن استفاده شود.

ماده	درصد ازدیاد طول آن
سرامیک	۰
شیشه	۰
فولاد	۱۸–۲۵
روی و آلیاژهای مس	۱۰–۱۰۰
مس	۵۵

چقرمگی:

ماده چقرمه به ماده ای گفته میشود که در برابر ایجاد ترک و گسترش آن مقاومت کند. مواد ترد مثل شیشه از چقرمگی بسیار پایینی برخوردار هستند. هرگاه در اثر ضربه یک ترک کوچک ایجاد شود این ترک به سرعت در تمام سطح آن گسترش می یابد. چقرمگی را میتوان از طریق دیگری هم تعریف کرد و آن، توانایی ماده در جذب ضربه و مستهلک کردن آن در خود است. هر چقدر ماده، بیشتر بتواند بدون آنکه بشکند انرژی ضربه را درون خود مستهلک کند، آن ماده چقرمه تر خواهد بود. استفاده از پلیمر، کامپیوزیت در سپر اتومبیل نیز به دلیل چقرمگی بالای آن ها نسبت به فلزات است، درنتیجه می تواند ضربه را در درون خود مستهلک سازد. چقرمگی شکست یک روش محاسباتی برای شکست ترد است در زمانی که در ماده ترک وجود داشته باشد. اگر چقرمگی شکست یک ماده کم باشد، آن ماده به صورت ترد می شکند و هرچه چقرمگی شکست بالاتر رود احتمال شکست نرم افزایش می یابد.

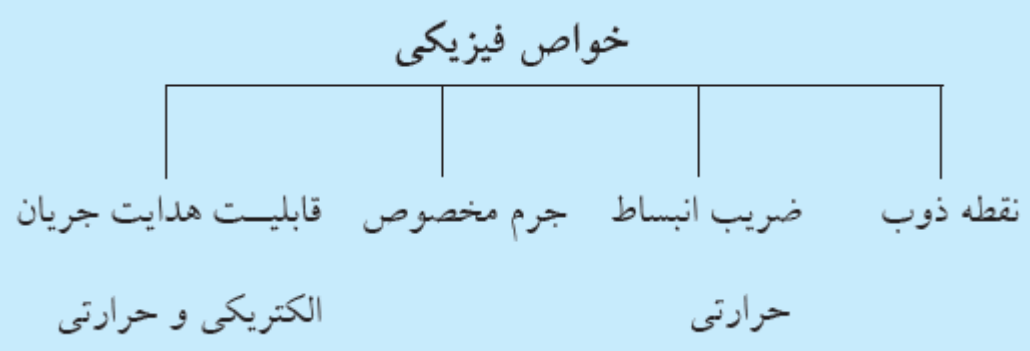
Material	K_{Ic} (MPa . $m^{1/2}$)
فلزات	
Aluminum alloy (7075)	24
Steel alloy (4340)	50
Titanium alloy	44-66
Aluminum	14-28
سرامیکها	
Aluminum oxide	3-5
Silicon carbide	3-5
Soda-lime-glass	0.7-0.8
Concrete	0.2-1.4
پلیمرها	
Polymethyl methacrylate	0.7-1.6
Polystyrene	0.7-1.1

برای چقرمه بودن، یک ماده باید هم محکم باشد و هم چکش خوار.

برای چقرمگی، یک ماده باید بتواند هم تنش‌های بالا و هم کرنش‌های بالا را تحمل کند.

خواص فیزیکی

- خواص فیزیکی مواد، به ساختمان اتمی آن ها بستگی دارد. نوع پیوند میان اتمها و چگونگی قرارگیری آنها در کنار یکدیگر از مواردی است که بر خاصیت مواد اثر مستقیم دارد. مهم ترین این خواص را در نمودار زیر مشاهده میکنید.



- **نقطه ذوب:**
- نقطه ذوب، درجه حرارتی است که ماده جامد در آن درجه حرارت به حالت مایع تبدیل می شود. برای مثال این درجه حرارت برای یخ، دمای صفر درجه است. مواد و عناصربه صورت خالص دمای ذوب ثابتی دارند.

- **انبساط حرارتی:**
- به جز تعدادی محدود، بیش تر مواد جامد با افزایش درجه حرارت، افزایش طول می دهند و با کاهش درجه حرارت طول آ نها کاهش می یابد. جامدات نه تنها از لحاظ طول، بلکه از لحاظ عرض و ضخامت نیز افزایش می یابند. هر ماده ای دارای ضریب انبساط خطی و حجمی مربوط به خود است که در بسیاری از کاربردهای مهندسی، این ضریب از اهمیت خاصی برخوردار است.

- **جرم مخصوص:**
- جرم واحد حجم هر ماده را جرم مخصوص میگویند که برای هر ماده مقدار معین و ثابتی است که به نوع و ساختمان ماده بستگی دارد.

قابلیت هدایت جریان الکتریکی و حرارت:

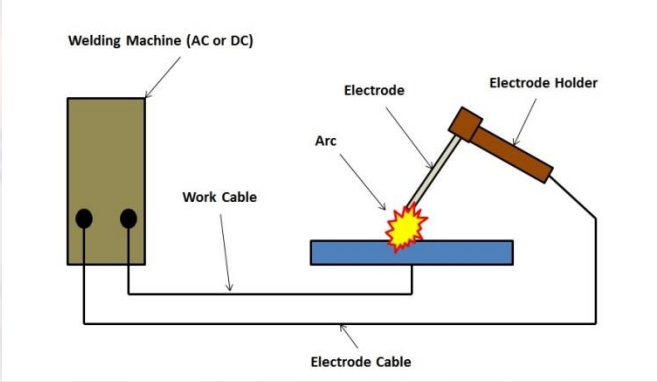
- میزان سهولت در عبور حرارت یا جریان الکتریکی، از خصوصیات مهم مواد است. چنا نچه ماده ای قابلیت عبور جریان الکتریکی از درون خود را نداشته باشد، آن را نارسانا و درصورتیکه ماده ای دارای این قابلیت باشد، آن را رسانا می گویند. در حقیقت هر چقدر ماده ای رساناتر باشد، اتمهای آن ماده در برابر عبور جریان الکتریکی مقاومت کمتری ایجاد می کنند. اثر مقاومت بیشتر اتمها در برابر حرکت الکترو نها و جریان الکتریکی به صورت گرما در ماده نشان داده می شود)یعنی هر چقدر مقاومت در برابر عبور جریان بیشتر باشد، ماده گرمتر خواهد شد(. درست به همین دلیل است که گرم کن های برقی با استفاده از چندمفتول فلزی گرمای زیادی تولید می کنند). هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی، رابطه ای تنگاتنگ با یکدیگر دارند. در بیشتر موارد هر چقدر ضریب هدایت الکتریکی بیشتر باشد، ضریب هدایت حرارتی بیشتراست و ماده حرارت را راحتتر از خود عبور می دهد.

- قابلیت هدایت حرارتی عبارت است از توانایی یک جسم در انتقال حرارت از نقطه ای به نقطه دیگر. حال هر چقدر این قابلیت بیشتر باشد، ماده با اتلاف انرژی کمتری حرارت را از خود عبور میدهد.

- **خواص تکنولوژیکی مواد**
- قابلیت چکشخواری، جوشکاری و براده برداری مواد را خواص تکنولوژیکی میگویند.
- **قابلیت چکشخواری:** توانمندی تغییر شکل مواد را به کمک نیروی فشاری وضربه، قابلیت چک شخواری مینامند. به عنوان مثال فولاد، مس و برنج را میتوان تحت تأثیر نیروی فشاری تغییر شکل داد و عملیاتی مانند نورد، خمکاری و آهنگری را روی آ نها انجام داد.

- **قابلیت ریخته گری:** این مفهوم رابطه تنگاتنگی با شکلپذیری دارد. برخی از مواد را میتوان به خوبی توسط فرایند ریخته گری تولید کرد. این مواد به دلیل خاصیت سیالیت خوبشان در حالت مذاب، مقاطع نازک را در قالبهای ریخته گری به خوبی پر میکنند. از این جمله میتوان به چدن و آلومینیم اشاره کرد.

- **قابلیت جوشکاری:** موادی قابلیت جوشکاری دارند که بتوان آ نها را به کمک حرارت یا حرارت توأم با فشار، به صورت مذاب به یکدیگر متصل کرد. فولادها و بعضی فلزات غیرآهنی قابلیت جوشکاری دارند.



- **قابلیت براده برداری:** موادی دارای قابلیت براده برداری هستند که بتوان آ نها را با سرعت زیاد و نیروی کم ماشین کاری کرد و سطح آ نها پس از براده برداری، همچنان صاف و پرداخت شده باشد. برای بهبود خواص ابزار های فولادی، عناصر آلیاژی منگنز، نیکل، کرم و سیلیسیم را با آن آلیاژ می کنند.

عناصر آلیاژی	تأثیر عناصر آلیاژی
منگنز (Mn)	قابلیت ماشین‌کاری را افزایش داده و آلیاژ آن به نام فولاد، مقاوم به خوردگی معروف است.
نیکل (Ni)	افزایش استحکام، چقرمگی و مقاومت به خوردگی
کرم (Cr)	افزایش استحکام، چقرمگی و مقاومت به خوردگی
فسفر(P)	باعث شکنندگی فولاد می‌شود و به عنوان عنصر مضر شناخته می‌شود.
گوگرد (S)	سختی گرمایی را کاهش داده و وجود آن در فولاد مضر است.
سیلیسیم (Si)	باعث افزایش سختی و چقرمگی فولاد می‌شود.