

علم مواد

فهرست

شماره صفحه	عنوان
6	مقدمه
6	مواد فلزی
7	موادسرامیکی
7	مواد پلیمری
8	مواد کامپوزیتی (مواد مختلط)
10	عدد اتمی
10	جرم اتمی
11	انواع پیوند های اتمی در جامدات
11	پیوند یونی
16	پیوند کووالانسی یا اتصال اشتراکی
18	پیوندهای ثانویه
20	پیوند فلزی
21	چند تست
24	ساختار اتمی در جامدات
25	ساختار کریستالی و شبکه های فضایی
27	صفحات و جهات کریستالوگرافی
27	صفحات کریستالی - اندیس میلر
32	جهات کریستالی

33	فواصل بین صفحه ای
34	ساختار کریستالی فلزات و تکرار صفحات اتمی
39	ضریب تراکم
45	چگالی اتمی خطی و صفحه ای
47	چند تست
57	عیوب شبکه کریستالی
57	عیوب نقطه ای
59	عیوب خطی
62	عیوب صفحه‌ای
64	عیوب فضایی یا سه بعدی
65	خواص مکانیکی فلزات
65	قاعده کلی در مورد فلزات
65	الاستیسیته
66	مفاهیم اولیه(نیرو - تنش - کرنش)
68	ارتباط بین کرنش حقیقی و مهندسی
70	ارتباط بین تنش ها و کرنش ها
70	ثوابت الاستیک
70	آزمایش کشش
74	مدول برشی
74	ضریب پواسون

75	مدول حجمی
76	پلاستیسیته
78	آزمایشهای استاندارد مکانیکی
78	آزمایش کشش
80	آزمایش سختی سنجی
86	آزمایش ضربه
89	خستگی
90	خزش
90	چند تست
93	بررسی مکانیزم لغزش در تک کریستالها
98	تحت انجماد
99	انواع فازهای جامد
100	نحوه انحلال در حالت جامد
100	محلول جامد بین نشینی
101	محلول جامد جانشینی
103	فازهای ترکیبی
105	نمودارهای تعادلی (فازی)
105	نمودارهای یک جزئی
107	نمودارهای دو جزئی
119	استحاله یوتکتیک

121	نمودارهای دوتایی با استحاله پریتکتیک
122	فازهای میانی
124	سایر انواع استحاله ها یوتکتوئید پری تکتوئید سین تکتیک <u>منو تکتیک</u> آلوتروپیک
127	چند تست
135	دیاگرام تعادلی آهن-کربن
135	فریت
136	آستنیت
136	آهن-کاربید
136	δ آهن
138	اجزاء فازهای تشکیل دهنده نمودار
144	متالوگرافی
145	تاثیر عناصر آلیاژی در فولادها
146	فولادهای ابزار تندبر
147	چدن‌ها
	چدن خاکستری چدن سفید چدن چکشخوار چدن کروی یا متورق چدن آلیاژی
151	چند تست
153	عملیات حرارتی
198	تستهای پایانی
252	منابع و مراجع

مقدمه:

هدف اصلی مطالعه علم مواد آگاهی یافتن از انواع مواد، خواص و توانایی آنها در ارتباط با نیازهای صنعتی روز، شناخت عوامل موثر از قبیل محیط و شرایط کاری بر خواص مواد و همچنین شناخت و بررسی روشها و فرآیندهایی است که با کاربرد آنها بتوان همواره در جهت حفظ و بهبود خواص مواد گام نهاد. به طور کلی مواد جامد مهندسی مورد نیاز برای طراحی و ساخت و تولید را می توان به سه گروه اصلی با خواص مربوط به خود تقسیم بندی نمود که عبارتند از: مواد فلزی، مواد غیر فلزی معدنی یا سرامیکی، مواد پلیمری یا مصنوعی. علاوه بر این سه گروه، گروه دیگری از مواد وجود دارد که از این سه گروه منشعب می شود و به نام مواد مختلط یا کامپوزیت معروف است.

1- مواد فلزی: مواد فلزی از نظر اهمیت در صنعت به دو گروه فلزات آهنی و آلیاژهای آن و فلزات غیرآهنی و آلیاژهای آن تقسیم می شود. فلزات آهنی و آلیاژهای آن عمدتاً درصد بسیار بالایی از آهن دارند که شامل انواع فولادها و چرخها می شوند. فلزات غیرآهنی و آلیاژهای آن شامل تمام فلزات دیگر (غیر از آهن) مانند آلومینیوم، مس، روی، تیتانیم، کرم، نیکل و .. و آلیاژهای آنهاست. البته آلیاژهای غیر آهنی مقدار نسبتاً جزئی آهن هم می توانند داشته باشند.

مواد فلزی عمدتاً هادی (رسانای) خوبی برای حرارت و الکتریسیته هستند. اغلب فلزات در درجه حرارتهای معمولی محیط شکل پذیر بوده و در مقابل واکنشهای شیمیایی پایداری بسیار بالایی ندارند. فلزات در شرایط معمولی دارای ساختار کریستالی اند. فلزات به صورت خالص به ندرت به کار می روند و اغلب از آلیاژهای آنها در صنایع مختلف استفاده می شود.

2- مواد سرامیکی:

مواد سرامیکی شامل بخش عمده ای از مواد غیر فلزی صنعتی می باشند. انواع مختلفی از مواد سرامیکی تولید می شوند. مانند:

سرامیکهای اکسیدی (شامل ترکیباتی از عناصر فلزی با اکسیژن)

سرامیکهای کاربیدی (ترکیباتی از کربن با بعضی از عناصر فلزی و یا غیر فلزی)

سرامیکهای نیتریدی (ترکیباتی از نیتروژن با تعدادی از عناصر فلزی و یا غیر فلزی)

سرامیکهای سیلیکاتی (انواع چینی ها)

سرامیکهای فروالکتریک یا سرامیکهای کریستالی با قابلیت پلاریزه شدن

سرامیکهای شیشه ای

مواد سرامیکی نوعاً استحکام و سختی بالایی دارند. سرامیکها عموماً در مقابل واکنش های شیمیایی بسیار پایدار بوده و در دماهای بالا مقاومند. سرامیکها قبلاً به عنوان مواد عایق جریان الکتریکی شناخته می شدند اما اکنون می توانند به گونه ای فرآوری شوند که رسانای الکتریسیته نیز باشند. تنها عیب سرامیکها تردی بسیار بالا یا انعطاف پذیری بسیار ضعیف آنها است.

3- مواد پلیمری

مواد پلیمری از کنار هم قرار گرفتن تعداد زیادی از مولکولهای زنجیره ای یا شبکه ای بزرگ مواد آلی، که از کربن و عناصر دیگری مانند هیدروژن، کلر، فلور، اکسیژن و ازت تشکیل شده اند، به وجود می آیند. مواد

پلیمری در طبیعت به صورت آزاد وجود ندارد و اغلب از طریق روشهای شیمیایی و پلیمر کردن منومرهای گازی شکل بدست می آیند.

اغلب مواد پلیمری دارای ساختار غیر کریستالی و یا مخلوطی از کریستالی و غیر کریستالی هستند. مواد پلیمری معمولاً دارای قابلیت هدایت الکتریکی بسیار ضعیفی هستند، به طوری که به عنوان عایق الکتریکی خوب به کار می روند. مواد پلیمری معمولاً در درجه حرارت‌های پائین (زیر صفر) ترد می شوند ولی در درجه حرارت‌های نسبتاً بالا قابلیت شکل پذیری دارند و در درجه حرارت‌های بالا ذوب و یا متلاشی می شوند. مواد پلیمری در مقابل عوامل و واکنش‌های شیمیایی در درجه حرارت معمولی محیط و در مجاورت هوای آزاد پایداری دارند. عموماً مواد پلیمری وزن مخصوص یا چگالی پائینی دارند.

4- مواد کامپوزیتی (مواد مختلط):

مواد مختلط یا کامپوزیتها به موادی گفته می شود که از مخلوط چند ماده (حداقل 2 ماده) با خواص متفاوت تشکیل شده باشند. اجزای مواد مختلط از نظر شکل و ترکیب شیمیایی متفاوت بوده و در یکدیگر حل نمی شوند و از نظر اندازه و ابعاد در حد میکروسکوپی و ماکروسکوپی وجود دارند. بدین ترتیب می توان موادی با خواص جدید به دست آورد که به نوبه خود دارای خواص مناسبتر از خواص هر یک از اجزای اولیه است. موادی که در کامپوزیتها به عنوان زمینه و تقویت کننده بکار می روند می توانند از مواد فلزی، سرامیکی و پلیمری باشند.

مواد کامپوزیتی بیشتر شامل یک جزء نرم و شکل پذیر به عنوان جزء اصلی زمینه و یک جزء بسیار سفت و سخت به عنوان تقویت کننده است. جزء تقویت کننده می تواند شامل یک عنصر خالص و یا از ترکیبات

بین فلزی (اینترمتالیک) با مقاومت بالا باشد. شکل هندسی جزء تقویت کننده بیشتر به شکل های ذره ای، الیافی و در موادی به شکلهای حصیری و صفحه ای است. کامپوزیتها معمولاً دارای استحکام بالا و چگالی پائینی هستند.

به عنوان ساده ترین مثال برای مواد کامپوزیتی می توان از بتن ساده (مخلوطی از سیمان، شن و ریگ) بتن مسلح (مخلوطی از سیمان و شن با مفتولهای فولادی)، لاستیک چرخ اتومبیل (مخلوطی از مواد پلیمری و کف و یا مفتولهای فولادی)، فایبر گلاس (مخلوطی از مواد سرامیکی، پلیمری و رزینی) نام برد. ساختار اتم:

می دانیم ماده از تعدادی اتم تشکیل شده و هر اتم شامل هسته ای است که توسط الکترونها احاطه شده است. قسمت عمده وزن اتم متعلق به هسته اتم است که از مجموع پروتونها و نوترونها تشکیل شده است.

$9/109 \times 10^{-28} \text{ gr}$	$1/675 \times 10^{-24} \text{ gr}$	$1/673 \times 10^{-24} \text{ gr}$
وزن	و هر الکترون	هر نوترون

دارد.

هسته اتم بیشتر خواص اتمی ماده را مشخص می کند که این خواص به آرایش اتمی و نوع پیوندهای اتمی آن بستگی زیادی نخواهد داشت.

از جمله این خواص می توان از : تمام خواص فیزیک هسته ای مانند قابلیت جذب نوترون و شکافته شدن و همچنین چگالی اتم که ابتدا به وسیله نوع هسته اتم مشخص می شود، نام برد. هسته اتم دارای بار مثبت است. در فضای اطراف اتم الکترونها که دارای بار الکتریکی منفی است در حرکتند. توزیع این الکترونها به دور هسته را می توان شبیه ابر متحرکی در اطراف هسته فرض کرد. چگالی این ابرالکترونی معادل با احتمال پیدا کردن یک الکترون در محلی از اطراف هسته اتم است.

تعداد الکترونها و پروتونها با هم برابرند. با توجه به اینکه قطر هسته اتم حدود $\frac{1}{1000}$ قطر اتم است.

میتوان گفت که قسمت عمده ای از فضای اتم خالی است. بین هسته و الکترونها نیروی جاذبه الکترواستاتیکی قوی وجود دارد که آنها را به یکدیگر متصل می سازد.

عدد اتمی:

عدد اتمی تعداد پروتونهای موجود در هسته اتم را مشخص می کند. در هر اتم چون تعداد الکترونها و پروتونها با هم برابر است از این رو هر اتم از لحاظ بار الکتریکی خنثی است. هر عنصر عدد اتمی خاص خود را دارد. در جدول تناوبی عناصر بر حسب افزایش عدد اتمی خود تنظیم و به ترتیب در ردیفهای افقی قرار گرفته اند. عدد اتمی مشخص کننده تغییرات یکنواخت در خواص شیمیایی و بیشتر خواص فیزیکی یک عنصر محسوب می شود. بسیاری از خواص عناصر تغییرات تناوبی دارد و عناصر با خواص مشابه در جدول تناوبی در ستونهای عمودی به نام گروه قرار گرفته اند. تمام عناصر یک گروه دارای تعداد الکترونها قشر خارجی یا الکترونها ظرفیت برابرند که منجر به داشتن خواص شیمیایی مشابه خواهد شد.

جرم اتمی:

جرم اتمی یک اتم جرم آن را نسبت به اتم های دیگر مشخص می کند. با توجه به اینکه پروتونها و نوترونها تقریباً تمامی جرم اتمی را تشکیل می دهند، جرم اتمی به صورت تعداد کل یا تعداد متوسط (در مورد ایزوتوپها) پروتونها + نوترونها تعریف می شود. به عنوان مثال جرم اتمی کربن با 6 پروتون و 6 نوترون برابر 12 واحد جرم اتمی است. اما به دلیل اینکه جرم یک اتم عدد کوچکی است در شیمی واحد بزرگتر از یک اتم را برای مقایسه مقدار مواد گوناگون انتخاب کرده اند. این واحد گرم مول یا به صورت ساده تر مول

نامیده می شود. بنابراین برای مثال یک گرم مول یا یک مول از آلومینیوم 26.98 گرم جرم دارد و شامل

$$\text{تعداد} \quad 6/0.23 \times 10^{23} \quad \text{اتم است.}$$

به عبارت دیگر جرم یک مول از اتم ها که شامل تعداد $6/0.23 \times 10^{23}$ است یک اتم گرم نامیده می شود.

$$\text{از این رو واحد وزن اتمی} \quad g \cdot mol^{-1} \quad \text{است.}$$

اغلب خواص مواد به رفتار الکترونیهای اطراف هسته اتم که تعداد آنها برابر تعداد پروتونهاست بستگی خواهد داشت.

انواع پیوند های اتمی در جامدات:

مواد جامد همگی از اتصال اتم های یکسان و یا متفاوت تشکیل شده اند. نیروهای بین اتمی یا به عبارتی پیوندهای اتمی مواد در اثر تاثیرات متقابل الکترونیهای مواد خارجی بر یکدیگر است. این تاثیرات متقابل از انواع مختلف بوده و به آرایش الکترونی الکترونیهای موجود در یک ماده و موقعیت آن ماده در سیستم تناوبی موجود بستگی خواهد داشت. این تاثیرات متقابل مختلف یا به عبارت دیگر پیوندهای اتمی متفاوت ، خواص مکانیکی فیزیکی و یا شیمیایی مختلفی را در بسیاری از مواد سبب می شود.

1- پیوند یونی:

پیوند یونی ساده ترین نوع پیوند است که سبب اتصال عناصر مختلف به یکدیگر می شود. این پیوند همیشه بین یونهای باردار مخالف (مثبت و منفی) قرار دارد. تشکیل این نوع پیوند در اثر این است که اتم ها میلند به صورت گازهای ایده آل پایدار در آیند، لذا اتمی که در مواد خارجی خود دارای تعداد کمی الکترون است

می تواند آنها را به سادگی در مقابل اتمی که مواد خارجی آن تقریباً پر است از دست بدهد و هر دو اتم دارای یک مدار خارجی کامل شود. در این صورت تعداد الکترونهاى آنها که دارای بار منفی است با بار هسته آن مطابقت نمی کند و اتم ها از لحاظ الکتریکی دارای بارهای مختلفی هستند. به عنوان مثال اتصال یا پیوند هر اتم کلر با یک اتم سدیم در نمک طعام (NaCl) را در نظر بگیرید.

سدیم یک الکترون $(3s)$ از قشر M خود را به الکترونهاى $3p$ از قشر N کلر می دهد و بدین ترتیب یک

یون سدیم با بار مثبت (Na^+) کاتیون و یک یون کلر با بار منفی (Cl^-) آنیون شکل می گیرد و با یک

نیروی جاذبه الکترواستاتیکی قوی به صورت پایدار به یکدیگر اتصال می یابند. بنابراین در اینجا نیروی جاذبه همان نیروی جاذبه کولمب است که مسبب اصلی انرژی اتصال بین یونهاى کریستال نمک طعام است.

زمانی که یونها تحت تاثیر نیروی جاذبه کولمبی به هم نزدیک می شوند الکترونهاى یک یون الکترونهاى یون دیگر را دفع می کند. همچنین نیروهای دافعه بین هسته ها ایجاد می شود. و در نتیجه پس از نزدیک

شدن یونها به یکدیگر در فاصله زمانی کوتاه نیروهای جاذبه و دافعه هر دو با هم وارد عمل می شود. این نیروی دافعه با نیروی جاذبه کولمبی که بین بارهای مثبت و منفی وجود دارد ممانعت می کند تا زمانی که

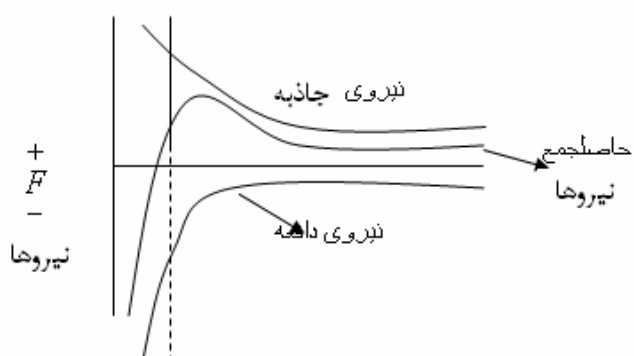
این دو نیروی دافعه و جاذبه با هم برابر شوند که در نتیجه یونها موقعیت محلی پایداری را به فاصله a_0 از

یکدیگر کسب می کنند. چنانچه فاصله بین یونها کمتر از a_0 باشد، برآیند یک نیروی تدافعی و اگر این

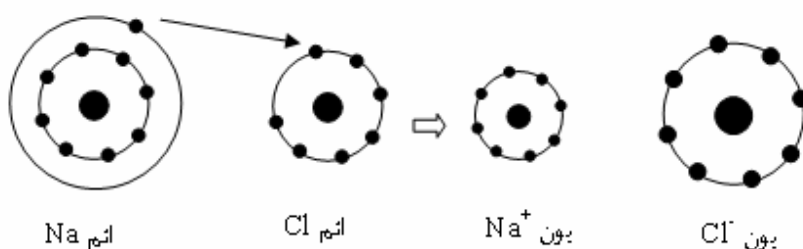
فاصله بیشتر از a_0 باشد برآیند، یک نیروی جاذبه ای است. این فاصله a_0 که از خصوصیات ویژه هر عنصر

محسوب می شود عامل تعیین کننده ای در ساختار مواد جامد یونی است. زیرا نیروهای الکترواستاتیکی

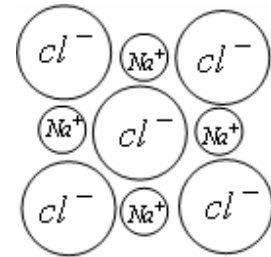
(کولمبی) جهت به خصوصی ندارند یعنی در تمام جهات به طور یکسان موثرند. چنانچه نمودار نشان می دهد نیروهای دافعه با کاهش فاصله اتمی به این دلیل که قشرهای داخلی هردو یون که از نظر تعداد الکترون کامل هستند به یکدیگر نزدیک و فشرده خواهند شد، بسیار سریعتر از نیروهای جاذبه افزایش می یابد.



پیوند یونی بین اتم های در عنصر مختلف با الکترونگاتیویته متفاوت وقتی که سدیم الکترون ظرفیت خود را به کلر می دهد، هر یک از اتم ها به یون باردار تبدیل می شود و با ظاهر گشتن نیروهای جاذبه پیوند یونی شکل می گیرد.



پیوند یونی بین اتم های دو عنصر مختلف با الکترونگاتیویته متفاوت



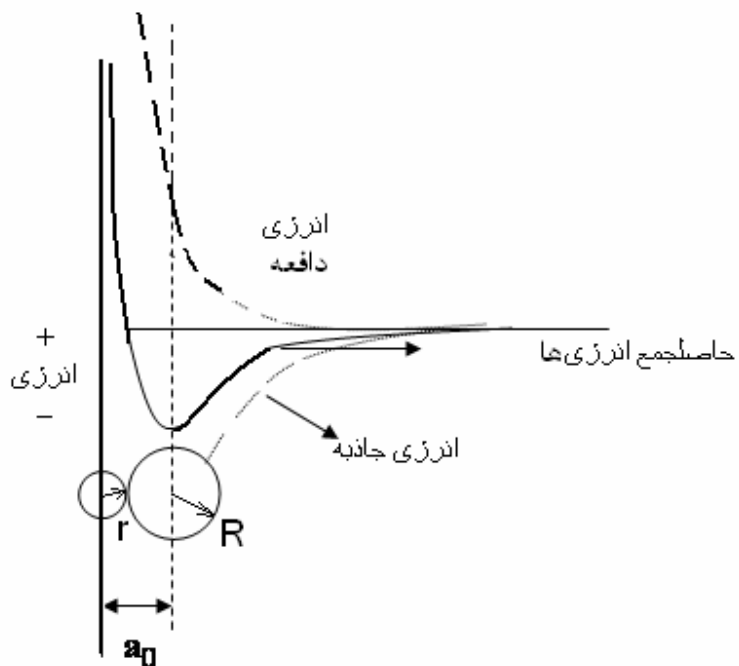
وقتی که سدیم الکترون ظرفیت خود را به کلر میدهد، هر یک از اتم ها به یون باردار تبدیل می شود و با ظاهرگشتن نیروی جاذبه پیوند یونی شکل می گیرد.

انرژی پتانسیل اتصال یونی را می توان به کمک روابط داده شده محاسبه کرد. انرژی پتانسیل بین دو یون که در فاصله بینهایت از یکدیگر قرار گرفته، صفر فرض شده است، زیرا انرژی پتانسیل برابر حاصلضرب نیرو در فاصله است. شکل زیر نمودار انرژی پتانسیل اتصال را نشان میدهد. مینیمم انرژی پتانسیل در موقعی

است که نزدیکترین فاصله بین مراکز دو یون برابر a_0 است و این مینیمم انرژی پتانسیل نشان دهنده حالت

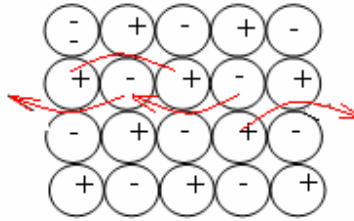
تعادل پایدار بین دو یون است. همانطور که از رابطه انرژی پتانسیل یعنی $E = \frac{q_1/q_2}{a^2}$ بار q_2 ، q_1)

الکتریکی دو یون و a فاصله بین مراکز دو یون) نتیجه می شود اگر بارهای الکتریکی یونهای مورد نظر هر دو مثبت یا هر دو منفی باشد این یونها یکدیگر را دفع می کنند و در نتیجه انرژی پتانسیل آنها افزایش می یابد و عمل نزدیک کردن این دو یون از فاصله بی نهایت به فاصله a با دادن انرژی به سیستم امکانپذیر است. در صورتی که اگر بار الکتریکی یک یون مثبت و بار الکتریکی یون دیگر منفی باشد، عمل نزدیک شدن این دو یون از فاصله بینهایت به فاصله a با آزاد شدن انرژی همراه است، یعنی این دو یون یکدیگر را جذب می کنند و انرژی پتانسیل سیستم کاهش می یابد.



در مقایسه با فلزات، کریستالهای یونی دارای قابلیت هدایت الکتریکی بسیار ضعیف هستند. زیرا که در این نوع کریستالها جریان الکتریسیته توسط حرکت ابر الکترونی انجام نمی گیرد بلکه توسط حرکت یونها آن هم هنگامی که ماده تحت تاثیر پتانسیل الکتریکی بالا قرار گیرد و یا موقعی که ماده به صورت الکترولیز درآید، یعنی در اثر جابجایی یونها، انجام می گیرد.

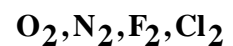
با قرار گرفتن ماده یونی در میدان الکتریکی، یونها به آرامی شروع به حرکت می کنند و جریان الکتریکی ضعیفی برقرار می گردد.



برخلاف فلزات، کریستالهای یونی سخت و تردند و عملاً قابلیت تغییر شکل پلاستیکی ندارند. پیوندهای یونی بین عناصر چند ظرفیتی به علت انرژی پتانسیل بیشتر قویتر از پیوند یونی بین عناصر یک ظرفیتی است. به همین علت است که اکسیدهای فلزات که سرامیکها را تشکیل می دهند دارای نقطه ذوب بسیار بالا که از مشخصات ویژه این گونه مواد است می باشند. قدرت پیوند یونی همچنین برمدول الاستیکی و ضریب انبساط حرارتی تاثیر خواهد داشت.

2- پیوند کووالانسی یا اتصال اشتراکی

پیوند کووالانسی از به اشتراک گذاشتن الکترونها قشر خارجی برای به دست آوردن وضعیت پایدار دو اتم حاصل می شود. ساده ترین مثال برای این پیوند مولکول H_2 است. در مولکول هیدروژن هر دو الکترون همزمان به هر دو هسته هیدروژن تعلق دارد یا به عبارتی هر دو الکترون اوربیتال $1s$ ، احتمال اقامت در یک محل در اطراف هر دو هسته را به طور همزمان داراست. در پیوند اشتراکی جا ذبه کولمبی وارد نمی شود. اتصال اشتراکی از نیروی جاذبه الکترونیایی که اغلب بین هسته های مثبت دو اتم در حرکت است به وجود می آید. محاسبه این نیروها پیچیده تر از محاسبه نیروها در ترکیبات یونی است. مولکولهای موادی مانند



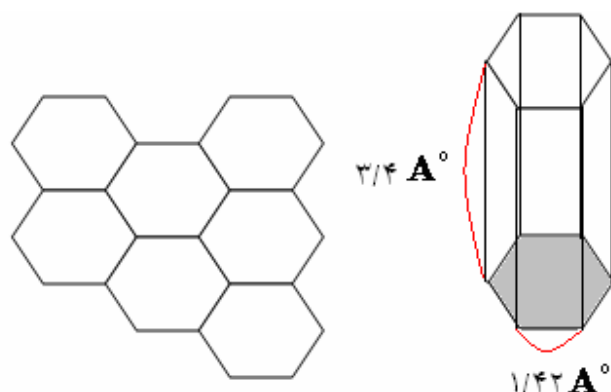
که دارای پیوند کووالانسی هستند اهمیت چندانی به عنوان مواد مورد نظر ما ندارد.

شرط اولیه برای اینکه یک جسم پایدار با نقطه ذوب بالا به وجود آید این است که پیوند کووالانسی بین تعداد زیادی از اتم ها به وجود آید که چنین چیزی در موارد ذکر شده موجود نیست.

اما در ساختارهایی مانند ساختار الماس، پیوند کووالانسی، اتم ها را به صورت بسیار محکمی به یکدیگر اتصال می دهد و سبب سختی بسیار زیاد و نقطه ذوب بسیار بالای الماس (3800 درجه سانتیگراد) می باشد. یک چنین ساختاری در عناصری چون Ge, Si, C دیده می شود.

همچنین خواص فیزیکی بسیاری از مواد پلیمری (شامل پلاستیکها و الاستومرهایی چون لاستیک) تا حدودی به پیوند کووالانسی موجود بین اتم های کربن با دیگر اتمها ارتباط دارد. پیوند کووالانسی پیوند بسیار قوی است. مواد با پیوند کووالانسی محض شکل پذیری ضعیف، هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار کمی دارند. در ساختار کربن به صورت گرافیت هر سه اتم کربن با پیوند اشتراکی با زاویه 120 درجه نسبت به یکدیگر در یک صفحه قرار دارند. کربن چهارم و در نتیجه لایه های اتمی توسط نیروهای ثانویه ضعیف که در قسمت پیوند واندروالس مورد بحث قرار خواهد گرفت به یکدیگر اتصال می یابد. این ساختار، ساختار گرافیتی نام دارد. به سبب همین پیوند ضعیف است که لغزش لایه های گرافیت بر روی یکدیگر انجام می گیرد.

در نتیجه این ساختار است که گرافیت دارای قابلیت هدایت الکتریکی است در صورتی که الماس هادی الکتریسیته نیست.



ساختار کریستالی گرافیت

3- پیوندهای ثانویه

پیوندهای ثانویه یا پیوندهای واندروالس پیوندهای بین گازهای ایده آل (مانند نئون و آرگون و ...) یا مولکولهای پایدار مانند متان و مواد آلی دیگر، در حالت مایع و جامد است. به همین دلیل پیوندهای ثانویه ربطی به الکترونهاي ظرفیت ندارد و در نتیجه پیوندهای ضعیفی از نوع الکترواستاتیکی است. نیروهای بین اتمی این پیوندهای ضعیف در اثر ارتعاشات حرارتی از بین خواهد رفت.

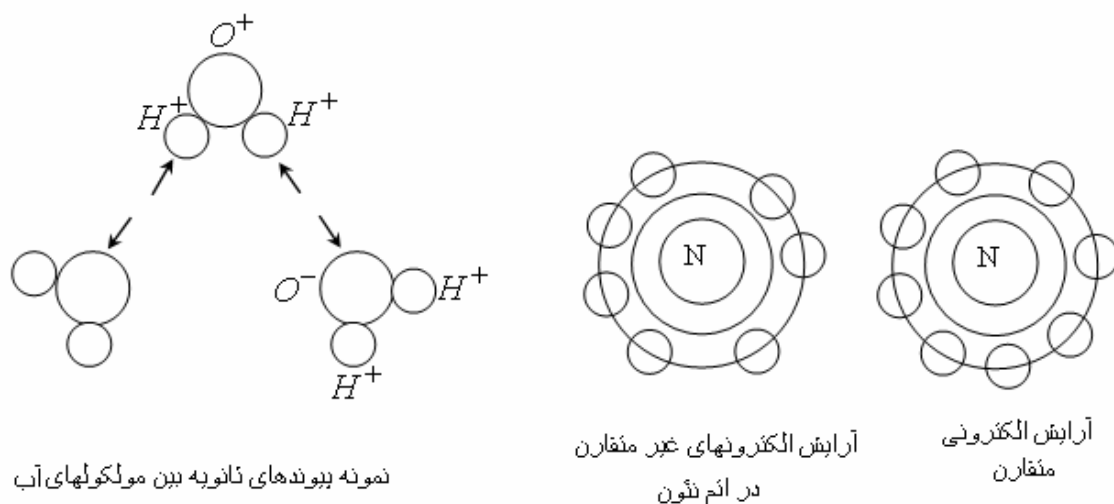
پیوندهای واندروالس در درجه حرارت های پائین ظاهر می شود. بدین جهت می توان گازهای بی اثر را در درجه حرارتهای بسیار پائین به حالت مایع یا جامد در آورد. عدم استحکام این پیوندها را می توان از پائین بودن نقطه ذوب و تبخیر گازهای بی اثر دریافت. این پیوندها هر چند ضعیف است ولی در مواردی که تنها عامل پیوند دهنده اتم ها و مولکولها باشد اهمیت فراوانی خواهد داشت.

اصولاً مولکولها از لحاظ الکتریکی خنثی می باشند ولی اگر مراکز بارهای مثبت و منفی آنها بر یکدیگر منطبق نباشد می تواند دو قطبیهای دائمی باشد. این مسئله در خصوص مولکول آب نیز صادق است.

الکترونها بیشتر وقت خود را در فضای بین اتم های هیدروژن و اکسیژن می گذرانند. در نتیجه اتم های هیدروژن بار مثبت و اتم های اکسیژن بار منفی پیدا می کنند.

انتهای مثبت یک مولکول آب انتهای منفی مولکول دیگر آب را جذب کرده و پیوند تشکیل می شود. پیوندهای دو یون قطبی را که قطب مثبت هیدروژن باشد پیوندهای هیدروژنی می نامند. که به سبب کوچکی یون هیدروژن می تواند نسبتاً قوی باشد. بسیاری از مولکولها دارای دو قطبیهایی دائمی است و پیوندهای بین این مولکولها پیوندهای دو قطبی دائمی نام دارد. این پیوندها جهت دار هستند. (شکل زیر) پیوند دو قطبی به روش دیگری نیز می تواند ایجاد شود. اتم نئون را که در شکل زیر نشان داده شده است.

در نظر بگیرید. الکترونها به صورت متقارن حول هسته اتم نمایش داده شده است ولی در واقع نمی توان انتظار داشت که در هر لحظه چنین تقارنی وجود داشته باشد.



احتمال اینکه دفعتهای الکترونیهای بیشتری در یک طرف هسته جمع شود وجود دارد. با این آرایش یک دو قطبی متغیر که با زمان تغییر می کند در اتم ایجاد می شود. این دو قطبی متغیر روی دو قطبیهای متغیر اتم های دیگر تاثیر می گذارد و در نتیجه یک نیروی جاذبه بین آنها به وجود می آید که نیروی جاذبه پراکنده نام دارد. این پدیده موجب ایجاد پیوندهای ضعیفی به نام پیوندهای واندروالس میشود. پلیمرها اغلب دارای پیوند کووالانسی بوده و از این رو بسیار ترد هستند، اما پلیمر پلی وینیل کلراید PVC به دلیل داشتن پیوند واندروالس بین زنجیره های مولکولی در جهت خاصی شکل پذیر است. در پلی وینیل کلراید، اتم های کلر با بار منفی به اتم های هیدروژن با بار مثبت متصل می شوند. زنجیرها به طور ضعیفی به وسیله پیوندهای واندروالس به یکدیگر اتصال دارند. موقعی که نیرویی به پلیمر وارد شود پیوندهای واندروالس شکسته می شود و زنجیرها روی یکدیگر می لغزند.

4- پیوند فلزی:

چنانچه از نام آن برداشت می شود این نوع پیوند در فلزات و آلیاژهایی با الکترونگاتیویته پائین دیده میشود. پیوند فلزی بسیار شبیه پیوند کووالانسی است. در پیوند فلزی هر اتم الکترونیهای قشر خارجی خود را (زمانی که اتم های فلز برای ایجاد کریستال جامد به یکدیگر نزدیک می شوند) آزاد می سازد. به عبارت دیگر می توان گفت که این الکترونها همانند آن حالتی که در پیوند اشتراکی وجود دارد به اتم های مجاورش تعلق نداشته بلکه به تمامی اتم های موجود در کریستال تعلق دارد. این الکتروهای قشر خارجی که تمامی فضای بین یونهای اتم ها را پر می کند گاز الکترونی نامیده می شود که بطور آزادانه و

سریع بین یونها در حرکت است . اتصال بین یونهای مثبت با بار منفی گاز الکترونی به وجود می آید. حرکت آزادانه و سریع الکترونها قشر خارجی یکی از دلایل عمده قابلیت هدایت الکتریکی و همچنین حراراتی زیاد فلزات و عدم شفافیت آنها در مقابل نور است.

پیوند فلزی معمولاً ضعیفتر از پیوند اشتراکی اما در حد پیوند یونی است. پیوند فلزی برخلاف پیوند اشتراکی جهت دار نیست به این دلیل است که تمایل فلزات برای ساخت شبکه های فضایی با متراکمترین شکل زیاد است.

برای محاسبه تعداد الکترونها هادی الکتریسیته در یک سانتیمتر مکعب نقره این چنین عمل می کنیم.

$$\text{جرم اتمی نقره برابر } 107/868 \text{ g/mol} \quad \text{و چگالی نقره } 10/49 \text{ gr/Cm}^3 \quad \text{بنابراین:}$$

$$1 \text{ Cm}^3 \times 10/49 \text{ g/Cm}^3 = 10/49 \text{ gr} = \text{جرم اتمی یک سانتیمتر مکعب نقره}$$

$$\text{تعداد اتمها} = \frac{(10/49 \text{ gr})(6/0.23 \times 10^{23} \text{ atom/mol})}{107/868 \text{ g/mol}} = 5.85 \times 10^{22}$$

$$\text{تعداد الکترونها هادی} = 5/85 \times 10^{22} \quad \text{atoms (الکترون ظرفیت)}$$

$$\text{الکترون در هر سانتیمتر مکعب} = 5/85 \times 10^{22}$$

چند تست :

تست: نوع پیوندهای موجود در مولکولهای پلیمر چگونه است (کنکور 79)

1) پیوند یونی 2) پیوندهای یونی و فلزی

3) پیوند کووالانسی و نیروهای والانسی 4) پیوند یونی و نیروهای واندروالسی

پاسخ : گزینه 3

نکته: همواره در آلیاژها به علت اختلال ناشی از انحلال عناصر آلیاژی در حرکت الکترونها و کاهش سرعت آنها هدایت حرارتی کمتر از فلزات خالص می باشد.

تست: با انحلال عناصر آلیاژی هدایت حرارتی مواد فلزی خالص کم می شود، زیرا..... می شود (کنکور 79)

1) سرعت الکترونها کم است. 2) سرعت الکترونها زیاد است

3) طول پویش آزاد الکترونها زیاد است. 4) طول پویش آزاد الکترونها کم است.

پاسخ : گزینه 1

تست: در کدام گروه از مواد ذکر شده پیوندهای یونی وجود دارد (کنکور 80)

1) فلزات 2) آلیاژها 3) سرامیک ها 4) پلیمرها

پاسخ : گزینه 3

تست: گرافیت ماده روانکار خوی است زیرا..... (کنکور 81)

1- اتم های کربن به صورت مجزا از یکدیگرند.

2- لایه های اتمی کربن با پیوند کووالانسی به یکدیگر اتصال دارند.

3- لایه های اتمی کربن با پیوند واندروالس به یکدیگر اتصال دارند.

4- اتم های کربن با پیوندهای ثانویه به یکدیگر اتصال دارند.

پاسخ : گزینه 3

تست: هنگامی انرژی پتانسیل یک جامد یونی افزایش می یابد که شعاع یونی آنیون و کاتیون و بار

الکتریکی آنها باشد (کنکور 81)

(1) کوچک - کم

(2) بزرگ - کم

(3) بزرگ - زیاد

(4) کوچک - زیاد

پاسخ : گزینه 4

$$E = \frac{q_1 q_2}{a^2}$$

یادآوری:

تست: اگر اختلاف الکترونگاتیویته، بین دو عنصر کاهش یابد، در اینصورت درصد پیوند کووالانسی و

درصد پیوند یونی می یابد. (کنکور 81)

1- کاهش - افزایش

2- افزایش - افزایش

3- کاهش - کاهش

4- افزایش - کاهش

پاسخ : گزینه 4

تست: در ساختمان الکترونی و پیوند فلزات جامد چه نوع اتصالی وجود دارد؟ (آزاد 66)

1- ابر الکترونی 2- قطبی 3- کووالانسی 4- مولکولی

پاسخ: گزینه 1

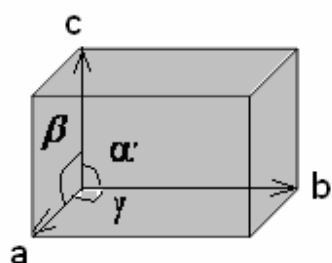
ساختار اتمی در جامدات:

همان طور که در مباحث قبلی نیز عنوان شد خواص فیزیکی مواد به نوع آرایش و ساختار اتمی و نیز به نوع پیوند بین اتم های سازنده آنها بستگی دارد، همچنان که در مورد کربن دو نوع ساختار اتمی مختلف کربن (گرافیت و الماس) منجر به پدیدار شدن خواص بسیار متفاوت در آن شده است. بنابراین نوع پیوند یکی از عوامل تعیین کننده در ساختار اتمی مواد است.

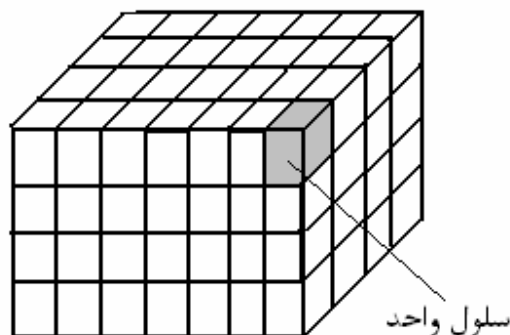
به طور کلی جامدات دارای دو نوع ساختار اتمی هستند. ساختار کریستالی (بلورین) و ساختار بی شکل (آمرف) در کریستالها اتم ها کاملاً دارای نظم و ترتیب خاصی هستند. بدین ترتیب که در هنگام انجماد با نظم و ترتیب خاصی قرار می گیرند. فلزات و بسیاری از سرامیکها در حالت انجماد دارای ساختار کریستالی (بلورین) هستند در مواد بی شکل (آمرف) قرار گرفتن اتمها در هنگام انجماد تقریباً بدون نظم و ترتیب است. این نوع ساختار در موادی مانند شیشه، بسیاری از پلاستیکها و لاستیک ها وجود دارد و به نام ساختار شیشه ای معروف است.

ساختار کریستالی و شبکه های فضایی.

به طوری که گفته شد در مواد جامد کریستالی اتم ها هنگام انجماد با نظم و ترتیب و شکل هندسی خاصی قرار می گیرند. به طوری که یک شبکه فضایی را به وجود می آورد که به صورت متناوب در تمام جهات تا سطح خارجی کریستال تکرار می شود. کوچکترین واحد از این شبکه فضایی را «شبکه واحد» یا سلول واحد می نامند. این سلول واحد که چگونگی قرار گرفتن اتم ها یا یونها را نسبت به یکدیگر نشان می دهد می تواند از یک یا چندین اتم تشکیل شده باشد، سپس با تکرار متناوب سلولهای واحد در یک شبکه فضایی با مختصات معینی به صورت متراکم در کنار یکدیگر یک کریستال به وجود می آید. هر شبکه فضایی واحد یا سلول واحد را می توان با دادن سه بردار a, b, c (در امتداد سه محور مناسب) و سه زاویه بین آنها مشخص کرد.



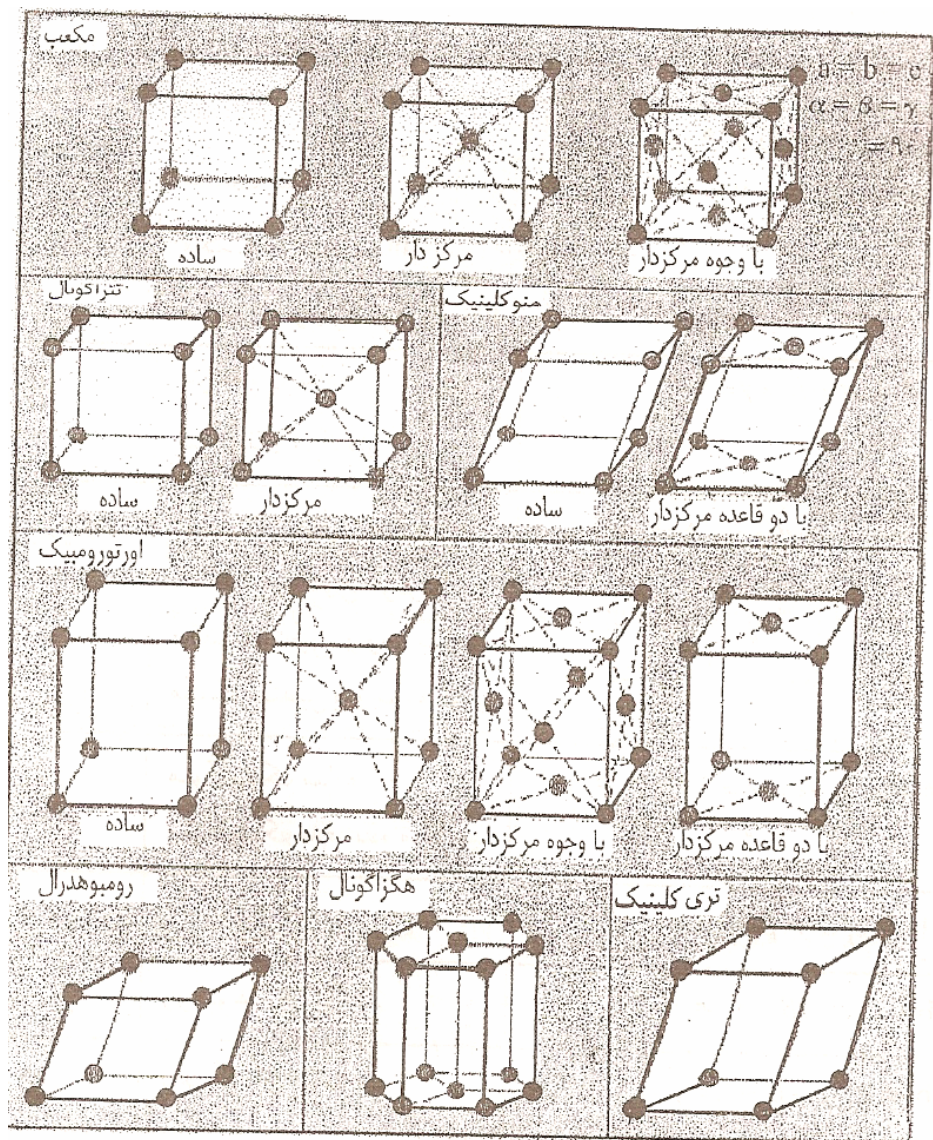
یک شبکه فضایی واحد (سلول واحد) از شبکه فضایی



بنابراین برای بررسی ساختار یک شبکه کریستال کافی است کوچکترین قسمت از یک شبکه فضایی که تمام ویژگیهای آن شبکه کریستال را دارا است، یعنی همان سلول واحد را در نظر بگیریم.

در علم کریستال شناسی (کریستالوگرافی) 14 نوع شبکه فضایی واحد با تقارن زیاد برای بلورها تشخیص داده شده است که میتوان آنها را به هفت سیستم تقسیم بندی کرد. شکل و جدول زیر این هفت سیستم کریستال و یا 14 نوع شبکه را مشخص می کند.

ابعاد محورها و زوایای سلول واحد	نوع	سیستم کریستال
$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	مکعب ساده	مکعب
" "	مکعب مرکزدار bcc	
" "	مکعب با وجوه مرکزدار fcc	
$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	تتراگونال ساده	تتراگونال
" "	تتراگونال مرکزدار	
$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	مکعب مستطیل ساده	اورتورومبیک
" "	مکعب مستطیل مرکزدار	
" "	مکعب مستطیل دو وجه مرکزدار	
" "	مکعب مستطیل با وجوه مرکزدار	مکعب مستطیل
$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	منوکلینیک ساده	منوکلینیک
" "	منوکلینیک با قاعده مرکزدار	
$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	تری کلینیک	تری کلینیک
$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	رومبوهدرال ساده	رومبوهدرال
$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	هگزاگونال ساده	هگزاگونال
یا		یا منشور شش
$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$		وجهی



صفحات و جهات کریستالوگرافی:

(a) صفحات کریستالی - اندیس میلر

ساختار اتمی کریستالها اغلب ناهمسانگر (ان ایزوتروپیک) از لحاظ جهات کریستالی است که این غیر یکنواختی بر روی بعضی از خواص کریستالها از جمله تغییر شکل پلاستیک تاثیر بسزایی دارد. همچنین

بعضی از خواص فیزیکی ، تابع فاصله بین دو اتم مجاور در یک شبکه کریستالی و تعداد پیوند های بین آنهاست.

بدین جهت برای تعیین موقعیت صفحات و جهات مختلف در هر شبکه کریستالی می توان از یک روش استاندارد شده استفاده کردو این عمل به کمک اندیس میلر به صورت زیر انجام میگردد.

ابتدا یک سیستم محور مختصات فضایی که مبدا مختصات آن بر یکی از گوشه های سلول واحد منطبق و محورهای آن در جهات مناسبی (معمولاً موازی با محورهای کریستال) نسبت به محورهای سلول واحد باشد، انتخاب می کنیم.

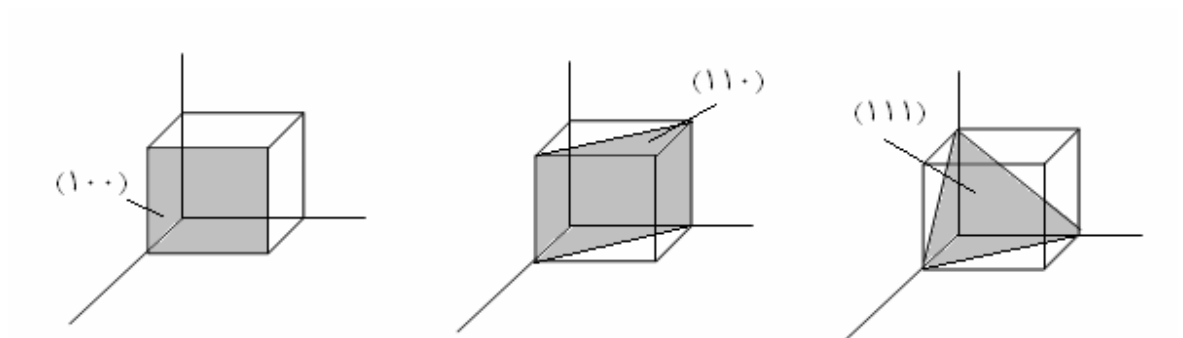
به عنوان مثال در سیستم کریستالی مکعب، تتراگونال و اورتورومبیک از یک سیستم محور مختصات عمود بر هم که مبدا مختصات آن منطبق بر یکی از گوشه های آن (مکعب یا تتراگونال) و محورهای مختصات Z, Y, X در امتداد سه ضلع عمود بر هم در آن گوشه سلول واحد باشد، استفاده می کنیم. به عنوان واحد اندازه گیری بر روی محورها طول اضلاع سلول واحد کریستال یعنی c, b, a را انتخاب میکنیم در سیستم مکعب طول بردارها با هم برابر است و برابر واحد انتخاب می شود $(a=b=c)$ واحد یا ثابت شبکه نامیده

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

می شودو است.

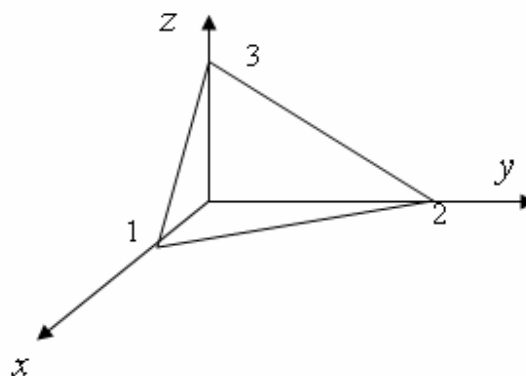
برای مشخص کردن یک صفحه کریستالوگرافی یعنی صفحه ای که از تعداد حداقل سه اتم یک شبکه تشکیل شده است، ابتدا محل تلاقی آن صفحه با محورهای مختصات تعیین می شود، سپس عکس این اعداد را بدست آورده و کوچکترین مخرج مشترک مخرج اعداد را تعیین و همگی را در آن عدد ضرب کرده و اعداد صحیح حاصل را به صورت (hkl) انتخاب می کنیم . این فرم یعنی (hkl) به نام «اندیس میلر» معروف است و سه حرف یا سه عددی که به جای این حروف تعیین می شود، شاخصهای میلر نامیده می

شود. مثلاً چنانچه در مورد سیستم مکعب برای مشخص کردن بعضی از صفحات این شبکه دستورالعمل فوق را عمل کنیم اندیس میلر آنها همچنان که در شکل زیر نشان داده شده به دست می آید. شاخصهای میلر هر صفحه همیشه اعداد صحیح مثبت یا منفی هستند.



مثال) برای یافتن اندیس میلر صفحه ای که محورهای مختصات را در نقاطی به طولهای $x=ma=1$ و $y=nb=2$ و $z=pc=3$ (ضرایب p,b,a و واحدهای شبکه اند) قطع می کند، به صورت زیر عمل میکنیم.

ابتدا عکس اعدادی که نقاط تلاقی را نشان می دهند به دست می آوریم.



$$\frac{1}{x} : \frac{1}{y} : \frac{1}{z} = \frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p} = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$$

سپس کوچکترین مضرب مشترک مخرج (N) را تعیین می کنیم.

(در اینجا $N=6$)

$$\frac{N}{m} : \frac{N}{n} : \frac{N}{p} = \frac{6}{1} : \frac{6}{2} : \frac{6}{3} = 6 : 3 : 2$$

اعداد بدست آمده اندیسه‌های میلر را مشخص می کند:

$$h : k : l = 6 : 3 : 2$$

بنابراین اندیس میلر صفحه مورد نظر عبارتست از (2 3 6).

بر عکس چنانچه اندیس میلر صفحه ای داده شده باشد $(hkl) = (2\ 3\ 6)$ برای یافتن نقاط تلاقی آن

صفحه با محورهای مختصات این چنین عمل میکنیم:

ابتدا عکس اعداد داده شده را می یابیم:

$$\frac{1}{h} : \frac{1}{k} : \frac{1}{l} = \frac{1}{6} : \frac{1}{3} : \frac{1}{2}$$

سپس با حاصلضرب اعداد به دست آمده در کوچکترین مضرب مشترک مخرج، نقاط تلاقی را به دست می

آوریم، یعنی $x=1$ ، $y=2$ ، $z=3$.

هر گاه شاخص های میلر دو صفحه مضرب صحیحی از یکدیگر باشند آن دو صفحه با هم موازی هستند به

عنوان مثال دو صفحه (101) و (202) با هم موازی هستند.

صفحاتی که شاخصهای میلر آنها از اعداد مشابه با ترتیبهای متفاوت اعم از مثبت و منفی تشکیل شده با

شد، همگی از لحاظ هندسی هم ارزند و به صورت $\{hkl\}$ نوشته می شوند. برای مثال در سیستم

$\cdot \bar{1} \cdot$

کریستالی مکعبی با توجه به تقارن شبکه مکعبی وجوه (100)، (010)، (001)، (100)، ()،

001̄

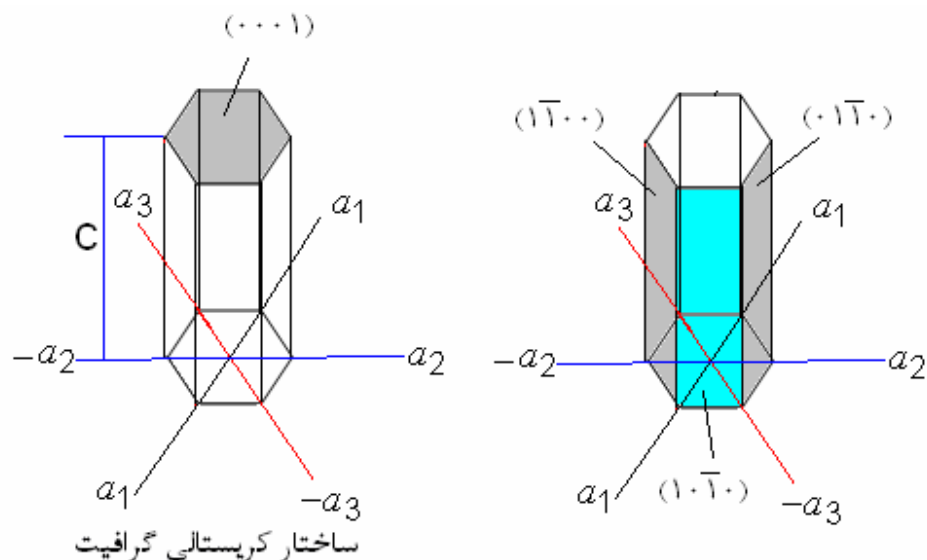
() همگی صفحات هم ارز مشابهند. تمامی این صفحات، مشابه یا هم شکل نام دارند و در مواقعی که همگی صفحات مشابه یا هم شکل مورد نظر باشد لازم نیست که تمام آنها را به صورت فوق یک به یک نوشت، بلکه شاخصهای میلر در یک آکولاد به صورت {100} نوشته می شوند.

در مورد تعیین صفحات کریستالوگرافی هگزا گونال علاوه بر استفاده از سه محور مختصات عمود بر هم (اندیس میلر) می توان برای ساده تر شدن از چهار محور مختصات (اندیس میلر- براویس) به صورتیکه در شکل زیر دیده می شود، استفاده کرد. سه محور آن یعنی a_1, a_2, a_3 در صفحه قاعده بوده و با یکدیگر زاویه 120° می سازند و محور چهارم (محور c) عمود بر سه محور و یا به عبارتی دیگر عمود بر صفحه قاعده خواهد بود.

بنابراین برای تعیین صفحه از چهار اندیس استفاده می شود (a_1, a_2, a_3, c) به طوری که

$$(a_1 + a_2) = -a_3$$

برای مثال صفحه (0001) صفحه قاعده هگزاگونال را نشان می دهد.

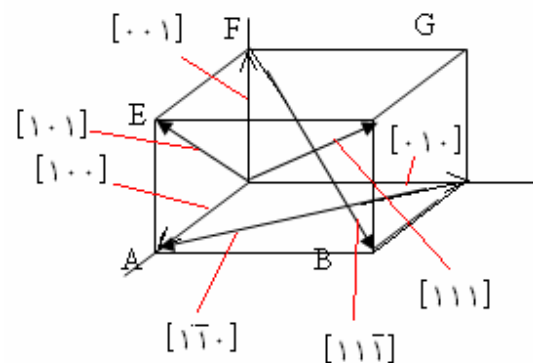


(b) جهات کریستالی :

هر برداری که از یک مرکز مختصات انتخابی به هر یک از نقاط یک شبکه کریستالی وصل شود یک جهت را نشان می دهد. چنین برداری را می توان بر حسب بردارهای واحد محورهای مختصات چنین مشخص کرد:

$$\vec{r} = u\vec{a} + v\vec{b} + w\vec{c}$$

در این رابطه u, v, w اعداد صحیح هستند. بنابراین جهت کریستالوگرافی به وسیله برداری مشخص می شود که مبدا آن، مبدا مختصات و جهت آن جهت مورد نظر را تعیین می کند. مثلاً بردار فوق، از مبدا و نقطه ای به مختصات $x=u$ و $y=v$ و $z=w$ می گذرد به عنوان اندیس میلر برای مشخص کردن جهت کریستالوگرافی، کوچکترین اعداد صحیحی که متناسب با آن مختصات و یا متناسب با طول مولفه های آن جهت بر روی محورهای مختصات باشد انتخاب می شود و این اعداد طبق قرار داد در داخل یک گروه نوشته می شوند $[uvw]$ در شکل زیر چند مثال برای جهات مختلف کریستالی در یک شبکه مکعبی نشان داده شده است.



مشابه آنچه که در مورد صفحات هم شکل یا هم ارز گفته شد، از لحاظ کریستالوگرافی کلیه بردارهای مشابه در یک شبکه فضایی کریستالی به دلیل وجود تقارن و تعداد اتم های برابر در هر واحد طول هم ارزند و چنانچه در مواقعی کلیه جهات هم ارز یا هم شکل مورد نظر باشد، می توان به جای تعیین یک به یک آنها

یکی از شاخصهای اندیس میلر آن را به صورت $\langle uvw \rangle$ نوشت، برای مثال هر گاه تمامی جهات

در یک سیستم شبکه کریستالی $[111]$ و $[1\bar{1}\bar{1}]$ و $[1\bar{1}1]$ و $[11\bar{1}]$ و $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ و $[\bar{1}\bar{1}1]$ و $[1\bar{1}1]$ و $[11\bar{1}]$

مکعب در نظر باشد با دادن علامت «111» تمامی آن جهات مشخص می شود.

فاصله بین صفحه ای:

فاصله هر صفحه اتمی از صفحه بعدی موازی آن در سیستم کریستالی مکعب، از رابطه زیر به دست می آید:

$$d_{(hkl)} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

در این رابطه، a واحد شبکه و l, k, h شاخصهای میلر هستند. البته برای سیستم های کریستالی غیر مکعب باید هر سه واحد شبکه (c, b, a) داده شود و رابطه هندسی برای فاصله بین صفحات موازی شبکه تا حدودی پیچیده تر خواهد بود.

به عنوان مثال روابط زیر ارتباط بین اضلاع شبکه، اندیسهای میلر و فاصله صفحات اتمی را در چند سیستم نشان می دهد.

$$\frac{1}{d_2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

در تراگونال

$$\frac{1}{d^4} = \frac{4}{3} \left[\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2}$$

در هگزاگونال

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

دراورتورمبیک

$$\frac{1}{d_2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2)\sin^2\alpha + 2(hk + kl + hl)(\cos^2\alpha - \cos\alpha)}{a^2(1 - 3\cos^2\alpha + 2\cos^3\alpha)}$$

دررمبوهدرال

ساختار کریستالی فلزات و تکرار صفحات اتمی :

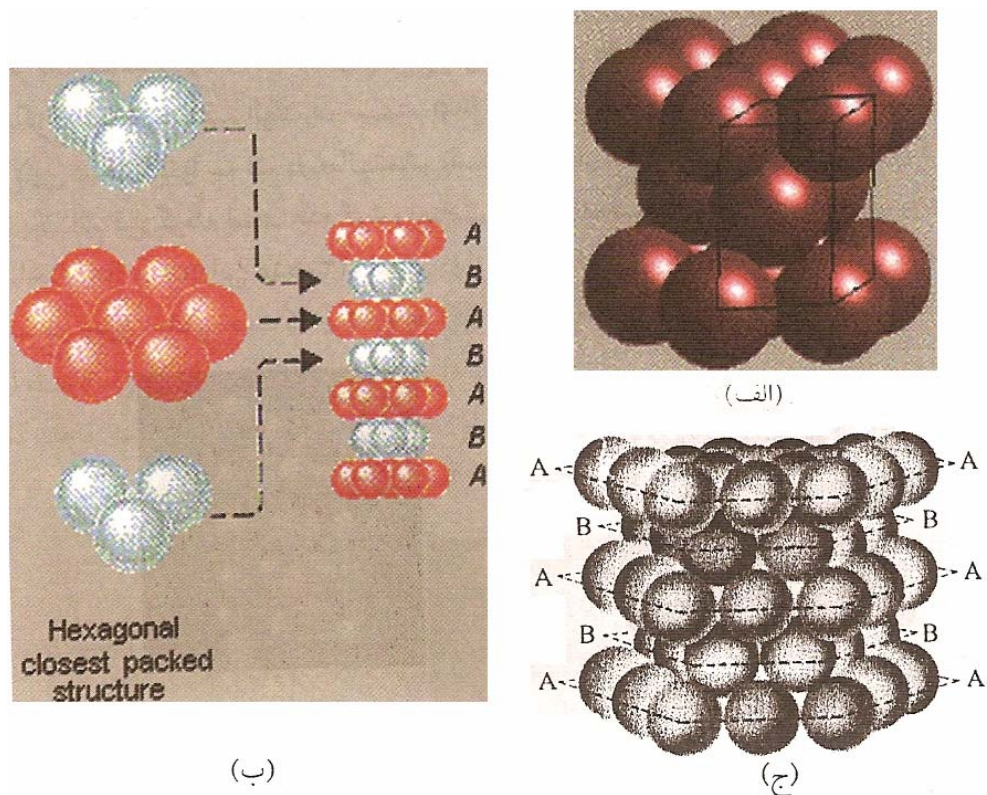
همان طور که قبلاً اشاره شد فلزات دارای پیوند فلزی اند بدین صورت که اتم ها یا دقیقتر بگوئیم یونهای مثبت، به وسیله ابرالکترونی آزاد به یکدیگر متصل می شوند، نیروهای جاذبه از نوع پیوندهای جهت دار نیستند، لذا ساختار کریستالی آنها تا حدود زیادی تابع اندازه نسبی اتم ها و طرز قرار گرفتن آنها در کنار یکدیگر است و یا به عبارتی به چگالی تراکم بستگی دارد. دراین نوع پیوند به واسطه وجود نیروهای جاذبه غیرجهت دار، هراتم سعی می کند تا حد امکان فضای اطراف خود را با اتم های دیگر پر کند. بدین ترتیب که تعداد پیوند در واحد حجم کریستال به ماکزیمم خود برسدو کریستال حاصله به صورت پایدار باقی بماند.

تقریباً تمام فلزات مهم به سه شکل کریستالی متبلور می شوند. این سه شکل عبارتند از مکعب مرکز دار (BCC) ، مکعب با وجوه مرکز دار (FCC) و هگزاگونال متراکم (HCP).

اغلب فلزات به یک شکل متبلور می شوند ولی فلزاتی هم وجود دارند که درحالت انجماد، دارای بیشتر از یک نوع سیستم شبکه کریستالی اند که هر یک از آنها در محدوده درجه حرارتی مشخص پایدار است. این چند گونگی (آلوتروپی) ، خود باعث به دست آوردن خواص مختلفی از یک نوع فلز می شود،مانند آهن که دارای اهمیت خاص صنعتی است.

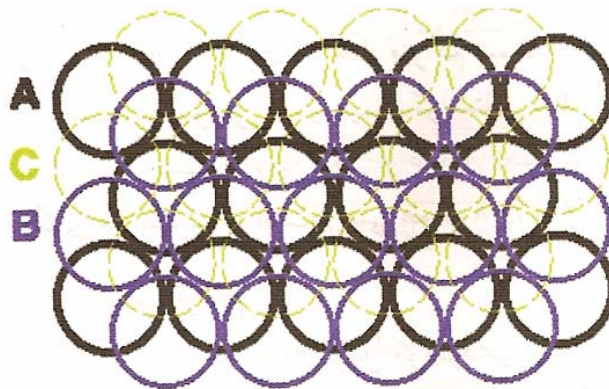
فلزات اغلب به صورت متراکمترین یا به عبارتی فشرده ترین شکل ممکن متبلور می شوند. در بین سالهای 1883 تا 1897 بارلو تعداد زیادی از ساختارهای کریستالی را بر مبنای قرار دادن توپهای سخت در کنار یکدیگر و ساختن ساختمانهای فشرده بررسی کرد. به منظور بدست آوردن ساختار متراکم از یک عنصر توپهایی با اندازه های یکسان (شعاعهای مساوی) در کنار یکدیگر طوری قرار داده شد که حداقل فضای خالی در بین آنها باقی بماند، طبیعی است که در این صورت توپها باید لایه های مشخص قرار گیرد. نتیجه قرار دادن توپها در کنار هم و رسیدن به ساختار متراکم، تنها به دو طریق امکانپذیر است، این دو نوع ساختار (آرایش اتمی)، ساختار متراکم هگزاگونال و ساختار متراکم مکعبی نام دارد.

شکل 1 یک لایه از اتم را با حداکثر تراکم مانند لایه A نشان می دهد. به طوری که دیده می شود اتم ها در کنار هم به شکل مماس بر یکدیگر قرار گرفته اند. برای رسیدن به موقعیت متراکمترین شکل ساختار کریستالی لایه B به صورتی که در شکل نمایش داده شده بر روی لایه A قرار می گیرد. به طوری که تعدادی از فضاهای خالی بین اتم های لایه A را به اندازه مساوی می پوشاند. اکنون یک لایه از صفحه اتمی سوم می تواند طوری روی لایه B قرار گیرد که اتم های آن کاملاً در امتداد اتم های لایه A باشد، لذا این لایه هم که با لایه اول کاملاً یکسان است می تواند لایه A نامیده شود.



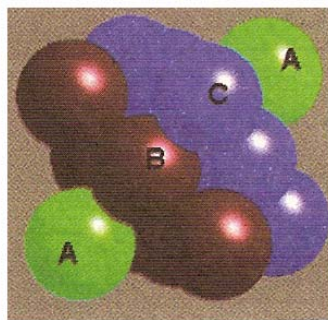
شکل ۱ | (الف) شبکه فشرده هگزاگونال، (ب) هریک از لایه‌های A و B جداگانه نشان داده شده است، (ج) تکرار لایه‌های اتمی در سیستم هگزاگونال

بدین ترتیب لایه های مختلف اتمی می تواند طوری بر روی یکدیگر قرار گیرند که وضع لایه ها به طور یک درمیان یکسان باشد. در این حالت وضع قرار گرفتن لایه های اتمی و یا به عبارتی تکرار صفحات اتمی به صورت ABABAB..... است. این نوع آرایش اتمی یا ساختار کریستالی، ساختار متراکم هگزاگونال نامیده می شود. علت انتخاب نام هگزاگونال برای این نوع ساختار فشرده این است که توپهای موجود در دو لایه متوالی A، گوشه های یک سلول واحد هگزاگونال را نشان می دهد که با خط چین در شکل 1-ج نشان داده شده است. اما اتم های لایه سوم نباید اجباراً به صورتی که در فوق بیان شد قرار گیرد، آنها می توانند در فضاهای خالی دیگر لایه B قرار گیرند، همچنان که در شکل 2 یکی از آنها به صورت خط چین نشان داده شده است.



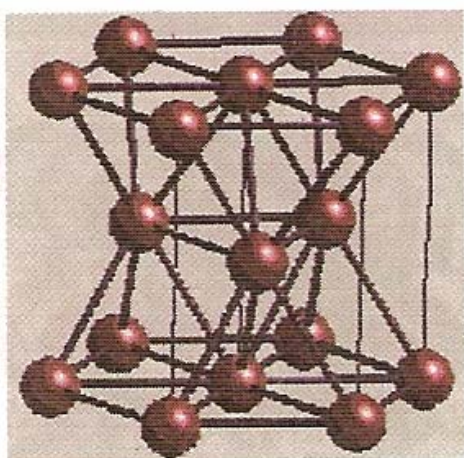
شکل ۲ : طرز قرار گرفتن لایه‌های
اتمی در سیستم فشرده fcc

بدین ترتیب اتم‌های این لایه که موقعیت دیگری غیر از A و B خواهد داشت لایه C نامیده می‌شود و امکان لایه چهارمی که فرم دیگری داشته باشد وجود ندارد. این طرز قرار گرفتن لایه‌های اتمی یا به عبارتی تکرار لایه‌های اتمی به صورت ABCABCABC..... است. این چنین ساختار کریستالی، ساختار فشرده مکعبی با وجوه مرکز دار نامیده می‌شود. برای اینکه بدانیم چرا یک چنین ساختار کریستالی، ساختار مکعبی نامیده می‌شود باید سیستم شبکه کریستالی مکعب با وجوه مرکز دار را مقداری چرخانید، و تقارن مکعبی را در آن بررسی کنیم (شکل 3).

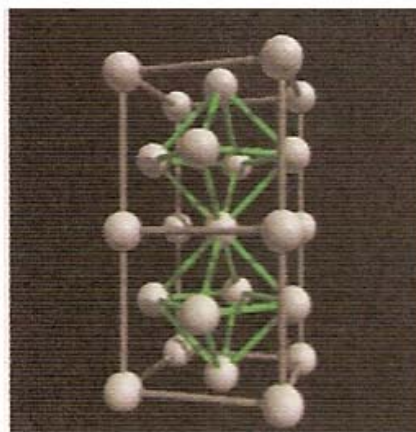


شکل ۳ : ساختار کریستالی سیستم fcc با لایه‌های C,B,A

بدین ترتیب خواهیم دید که واحد ابتدایی در ساختار فشرده مکعبی با وجوه مرکز دار مکعبی است که از 14 توپ ساخته شده و در نتیجه این ساختار را به عنوان ساختار مکعب با وجوه مرکز دار می شناسیم. چنانچه ساختار کریستالی مکعب با وجوه مرکز دار (FCC) و هگزاگونال متراکم (HCP) را در نظر بگیریم، (شکل 4)، در هر یک از این دو ساختار کریستالی هر اتم با دوازده اتم دیگر در تماس مستقیم است در سیستم HCP هر اتم از یک لایه با شش اتم و در لایه های زیری و بالایی در هر یک با سه اتم در حال تماس مستقیم است. تعداد اتم هایی که در همسایگی نزدیک با یک اتم قرار گرفته است عدد کئوردیناسیون یا عدد هماهنگی آن اتم می نامند. برای دو نوع ساختار FCC و HCP این عدد 12 است. دوازده حداکثر عدد کئوردیناسیون ممکن است، زیرا تنها در چنین حالتی است که چگالی حداکثر و بیانگر متراکمترین نوع ساختار کریستالی است.



(ب)

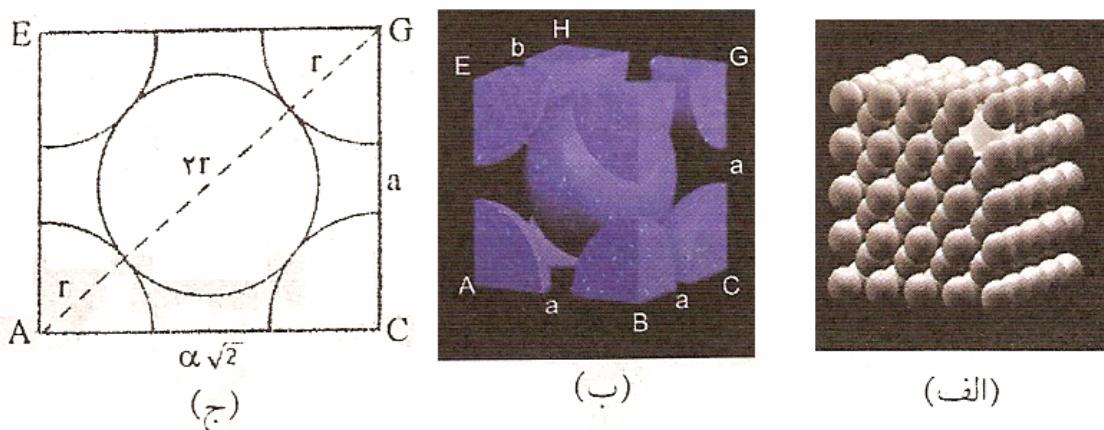


(الف)

شکل ۴ : نمایش عدد کئوردیناسیون، (الف) در شبکه fcc،
(ب) در شبکه هگزاگونال متراکم

فلزاتی وجود دارند که دارای ساختار کریستالی مکعب مرکز دار (BCC) هستند، شکل 5. در چنین نوع کریستالی هر اتم مانند اتم در مرکز با 8 اتم دیگر در تماس است. بدین جهت عدد کئوردیناسیون شبکه

BCC برابر 8 است که این عدد گویای این است که شبکه کریستالی BCC دارای یک ساختار متراکم نیست و تنها 68٪ از فضای سلول واحد از اتم ها اشغال شده است. در صورتی که در سیستم کریستالی FCC و HCP 74٪ از فضای سلول واحد آنها از اتم ها اشغال شده است. بنابراین یکی از عوامل تعیین کننده در تراکم اتمی عدد کئوردیناسیون و دیگری ضریب تراکم است (یعنی همان 68٪ و 74٪ بیان شده).



شکل ۵ : (الف) ساختار شبکه bcc. (ب) شکل فضایی سلول واحد bcc، (ج) صفحه EGAC از شکل فضایی

ضریب تراکم:

نسبت حجم تعداد اتم های کامل موجود در یک سلول واحد به حجم سلول واحد را ضریب تراکم می نامند:

حجم تعداد اتم های موجود در یک سلول واحد
 ضریب تراکم (PF) : _____
 حجم سلول واحد

این ضریب نشان می دهد که چند درصد حجم سلول واحد توسط اتم یا اتم هایی اشغال شده است. برای تعیین ضریب تراکم لازم است که اشاره ای به روش محاسبه اتم های کامل یک سلول واحد شود:

الف) تعداد اتم کامل در سیستم مکعب مرکز دار (BCC)

در این سیستم 8 اتم در گوشه های مکعب قرار دارد که هر یک از آن 8 اتم به 8 سلول واحد تعلق دارد،

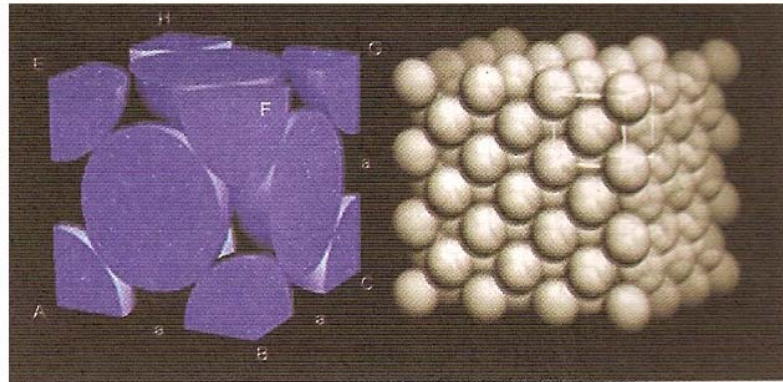
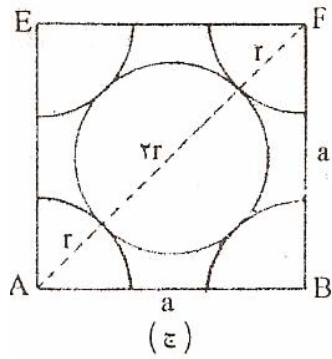
یعنی $8 \times \frac{1}{8} = 1$ یک اتم در مرکز مکعب که متعلق به همین یک سلول واحد است. بنابراین سیستم

مکعب مرکزدار دارای تعداد 2 اتم کامل می باشد. (شکل 5).

ب) تعداد اتم های کامل در سیستم مکعب با وجوه مرکزدار (FCC)

در این سیستم هم 8 اتم در گوشه های مکعب قرار دارد که هر یک از آنها به 8 سلول واحد تعلق دارد یعنی

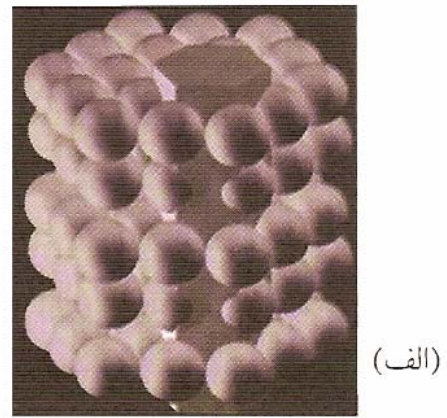
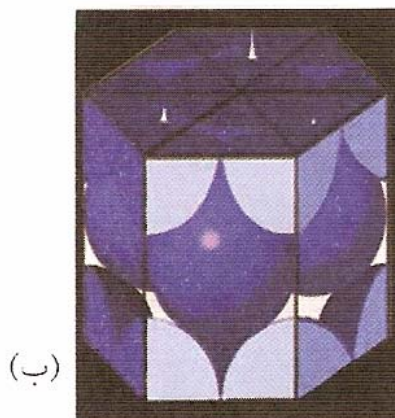
و $6 \times \frac{1}{2} = 3$ بدین ترتیب هر شبکه واحد مکعب با وجوه مرکزدار مجموعاً دارای 4 اتم کامل است. (شکل 6)



شکل ۶ : (الف) ساختار شبکه FCC ، (ب) شکل فضایی سلول واحد FCC ، (ج) صفحه AEFB از شکل فضایی جهت محاسبه ضلع a بر حسب r

(ج) تعداد اتم های کامل در سیستم هگزاگونال متراکم (HCP)

در این سیستم 12 اتم در گوشه های هگزاگونال قرار دارند که هر یک از آنها متعلق به 6 سلول واحد و یک اتم در مرکز هر قاعده که متعلق به دو سلول واحد بوده و سه اتم در بین دو قاعده که تماماً متعلق به سلول واحد هستند یعنی مجموعاً 6 اتم کامل (شکل 7)



شکل ۷ : (الف) شبکه فضایی HCP ، (ب) سلول واحد شبکه HCP

مثال) ضریب تراکم را در سلول واحد BCC و FCC بدست آورده و آنها را با هم مقایسه کنید.

ضریب تراکم در BCC : برای محاسبه حجم سلول واحد بر حسب r می توان از شکل (5-ب) استفاده و a_{BCC} را بر حسب r تعیین کرد.

$$(a\sqrt{2})^2 + a^2 = (4r)^2$$

$$a_{bcc} = \frac{4r}{\sqrt{3}}$$

$$\text{ضریب تراکم در BCC} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi r^3}{\left[\frac{4r}{\sqrt{3}} \right]^3} = \frac{\frac{8}{3} \pi r^3}{\left[\frac{4r}{\sqrt{3}} \right]^3} = \frac{\sqrt{3} \pi}{8} = 68\%$$

ضریب تراکم در FCC: برای محاسبه ضریب تراکم در FCC ابتدا حجم سلول واحد FCC را بر حسب r (شعال اتمی) به دست می آوریم (شکل 6)

$$2a_{fcc}^2 = (4r)^2 \Rightarrow a_{fcc} = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

بنابراین ضریب تراکم FCC برابر است با :

$$\frac{4 \times \frac{4}{3} \pi r^3}{\left(\frac{4r}{\sqrt{2}} \right)^3} = \frac{2\pi\sqrt{2}}{12} = 0.74$$

از مقایسه دو ضریب تراکم نتیجه می شود که ضریب تراکم شبکه FCC هم چنانچه قبلاً اشاره شد بزرگتر از BCC است.

در اینجا می توان چگالی یا وزن مخصوص حقیقی یکی عنصر جامد کریستالی را با استفاده از رابطه ضریب تراکم اتمی به دست آورد. بر عکس با داشتن چگالی و نوع ساختار کریستالی می توان شعاع اتمی دو واحد شبکه یا فواصل اتمی را محاسبه کرد.

به عنوان مثال چنانچه یک سلول واحد از یک سیستم کریستالی مکعب با ضلع a و تعداد n اتم را در نظر بگیریم در این صورت وزن این سلول واحد برابر است با وزن اتم های موجود در این سلول واحد. وزن اتم ها در هر سلول واحد را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$m = \frac{nM}{N_A}$$

در این رابطه:

M : وزن اتمی

n : تعداد اتم ها در یک سلول واحد

M : وزن سلول

N_A : عدد آووگادرو

وقتی حجم هر سلول واحد a^3 باشد، بدین ترتیب چگالی کریستال (ρ) برابر وزن سلول واحد تقسیم بر حجم سلول واحد خواهد بود:

$$\rho = \frac{nM}{a^3 N_A}$$

$$\rho = \frac{nM}{VN_A}$$

در این رابطه V حجم سلول واحد است.

مثال (چگالی آلومینیوم را محاسبه کنید.

در صورتی که شعاع اتمی آن $r = 1/431 \text{ \AA}$ و ساختار کریستالی آن FCC و وزن اتمی آن g/mol 26.97 باشد.

$$N_A = 6/02 \times 10^{23} \text{ Atoms/mol}$$

عدد آووگادرو

حل: با استفاده از رابطه $\rho = \frac{nM}{VN_A}$ و با توجه به اینکه آلومینیوم دارای شبکه کریستالی FCC است، تعداد اتم های آن $n=4$ و واحد شبکه آن برابر است با

$$a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4 \times 1/431 \text{ \AA}}{\sqrt{2}} = 4/06 \text{ \AA} = 4/06 \times 10^{-10} \text{ m}$$

(یا)

بنابراین چگالی آن برابر است با :

$$\rho = \frac{4 \times 26/97 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}}{(4/06 \times 10^{-10} \text{ m})^3 \times 6/02 \times 10^{23} \text{ atom/mol}} = 2/68 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

البته این چگالی محاسبه شده مربوط به یک کریستال کامل (یابدون عیب) است. اما در واقع چگالی که از طریق اندازه گیری تعیین می شود معمولا به دلیل وجود عیب های جای خالی عدد کوچکتری خواهد بود.

چگالی اتمی خطی و صفحه ای:

برای بدست آوردن تراکم اتمی در امتداد یک خط و همچنین بر روی یک صفحه از مفاهیم چگالی خطی و چگالی صفحه ای استفاده کرده و آنها را به کمک روابط زیر تعیین می کنیم.

الف) چگالی اتمی خطی

$$\text{چگالی اتمی خطی} = \frac{\text{تعداد اتم های کامل موجود بر روی پاره خط}}{\text{طول پاره خط مورد نظر}}$$

مثال) چگالی خطی اتم ها را در امتداد [110] در شبکه کریستالی مس تعیین کنید.

$$r = 1/278 \text{ \AA} = 1/278 \times 10^{-7} \text{ mm}$$

$$\text{چگالی اتمی خطی} = \frac{\text{تعداد اتم ها}}{\text{طول پاره خط}} = \frac{2}{a\sqrt{2}} = \frac{2}{4}$$

$$\text{چگالی اتمی خطی در امتداد [110]} = \frac{2 \text{ atoms}}{4 \left[1/278 \times 10^{-7} \text{ mm} \right]} = 3/9 \times 10^6 \text{ atoms/mm}$$

ب) چگالی اتمی صفحه ای

$$\text{چگالی اتمی صفحه ای} = \frac{\text{تعداد اتم های کامل موجود بر روی صفحه}}{\text{مساحت صفحه مورد نظر}}$$

مثال) چگالی صفحه (100) را در شبکه کریستالی سرب (FCC) محاسبه کنید.

$$r_{pb} = 1/75 \cdot \text{A}^\circ = 1/75 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$$

حل:

$$a_{pb} = \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4(1/750 \times 10^{-7} \text{ mm})}{\sqrt{2}} = 4/95 \times 10^{-7} \text{ mm}$$

$$= \frac{2 \text{ atoms}}{a_{pb}^2} = \frac{2 \text{ atoms}}{(4/95 \times 10^{-7})^2} = 8/2 \times 10^{12} \text{ atoms/mm}^2$$

چگالی اتمی صفحه (100)

برخی ساختمان بلوری فلزات معروف:

FCC

γ
آلمینیوم - آهن - پلاتین - سرب - طلا - مس - نیکل - نقره

BCC

α, δ
آهن - پتاسیم - تنگستن - سدیم - مولیبدن - وانادیوم

HCP

منیزیوم - کادمیم - کبالت - روی

نکته: برای محاسبه تعداد اتم های موجود در یک سلول واحد از رابطه زیر بهره می بریم

$$N = N_i + \frac{N_f}{2} + \frac{N_c}{8}$$

N : تعداد اتم های موجود در سلول واحد

N_f : تعداد اتم های موجود در سطح وجوه

N_i : تعداد اتم های داخلی

N_c : تعداد اتم های موجود در گوشه های سلول

$$sc \rightarrow 1, Bcc \rightarrow 2, fcc \rightarrow 4$$

چند تست :

تست (مجموع اتم های واحد ساختمانی شبکه BCC چند اتم است (آزاد 72)

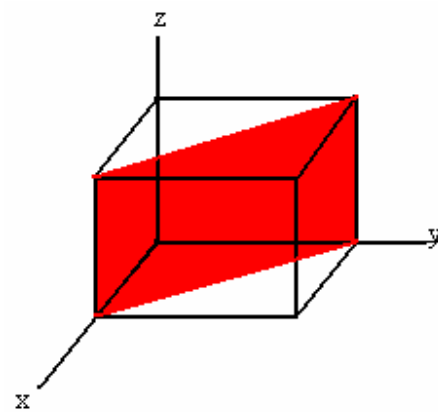
8-1 9-2 14-3 11-4

پاسخ : گزینه 2

تعداد اتم هایی که سلول واحد را می سازند مد نظر است.

تست (مختصات میلر (miller) صفحه ها شور خورده کدام است؟ (آزاد 75)

(1) (100) (2) (011) (3) (010) (4) (110)



پاسخ : گزینه 4

تست (ضریب تراکم اتمی در یک فلز عبارت از کدام مورد است؟ (آزاد 76)

1- سطح تعداد اتم های موجود در واحد سطح به سطح سلول

2- حجم تعداد اتم های تشکیل دهنده سلول واحد به حجم سلول

3- حجم تعداد اتم های موجود در سلول واحد به حجم سلول

4- سطح تعداد اتم های تشکیل دهنده واحد سلول به سطح کل سلول

پاسخ : گزینه 3

تست) عدد همسایگی برای کریستالهای با شبکه مکعب ساده برابر است با (کنکور 78)

4 (1) 6 (2) 8 (3) 12 (4)

پاسخ : گزینه 2

تست) در سیستم مکعب فاصله مختصات (110) برابر است با (کنکور 78)

$\frac{a\sqrt{3}}{3}$ (4) $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ (3) $a\sqrt{2}$ (2) a (1)

پاسخ : گزینه 3

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{a}{\sqrt{2}} = \frac{a\sqrt{2}}{2}$$

تست) ثابت شبکه ای هر سلول واحد در ساختار بلوری آلومینیوم 0.4049 nm است. مقدار d_{200} آن را حساب کنید. (کنکور 78)

1) 0.2024 nm 2) 0.81 nm 3) 0.1431 nm 4) 1.2 nm

پاسخ : گزینه 1

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{0.4049}{\sqrt{4}} = 0.2024$$

تست) چرا اتم ها برای نفوذ در آهن BCC نفوذ پذیری بیشتری دارند تا در آهن FCC؟ (کنکور 78)

1- راه عبور بین حفره ای FCC کوچکتر از ساختار BCC است.

2- ضریب فشردگی اتمی آهن FCC کمتر است.

3- ضریب فشردگی اتمی آهن BCC کمتر است.

4- حفره های بین نشین FCC کوچکتر است.

پاسخ : گزینه 3

تست) میزان فشردگی packing factor شبکه آهن در دمای محیط چند درصد است؟ (کنکور 78)

1) 52 2) 68 3) 70 4) 74

پاسخ : گزینه 2

$$\text{Bcc} \Rightarrow \sqrt{3}a = 4r \Rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{3}}, n = 2$$

$$\text{p.f} = \frac{2\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)}{\left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3} = 0.68$$

تست) چگالی اتمی صفحه (100) در شبکه کریستالی FCC بر حسب (اتم / mm²) کدام است؟

$$r = 0.124 \times 10^{-9} \text{ m}$$

(شعاع اتمی)

$$\frac{34}{49} \times 10^{12} \quad (2)$$

$$\frac{43}{112} \times 10^{12} \quad (1)$$

$$\frac{8}{622} \times 10^{12} \quad (4)$$

$$\frac{17}{245} \times 10^{12} \quad (3)$$

پاسخ : گزینه 3

$$4 \times \frac{1}{4} + 1 = 2$$

تعداد اتم ها

$$A = a^2 = \left(\frac{4r}{\sqrt{2}}\right)^2 = 8(0.124 \times 10^{-9})^2 = 1/23 \times 10^{-19} \text{ m}^2$$

$$d = \frac{2}{1/23 \times 10^{-19}} = 1/63 \times 10^{19} \frac{\text{atm}}{\text{m}^2} = 1/63 \times 10^{13} \frac{\text{atm}}{\text{mm}^2} = 16/3 \times 10^{12} \frac{\text{atm}}{\text{mm}^2}$$

تست) دانستیه (چگالی) آهن α که دارای ساختار BCC و مشخصات ذیل می باشد. بر حسب

$$\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad \text{کدام است؟ (کنکور 79)}$$

$$\alpha = 6/0.2 \times 10^{23} \quad \text{عدد آووگادرو -} \\ \alpha = 0.124 \times 10^{-9} \text{ m} \quad \text{شعاع اتمی آهن}$$

$$\alpha = 56 \quad \text{جرم اتمی آهن}$$

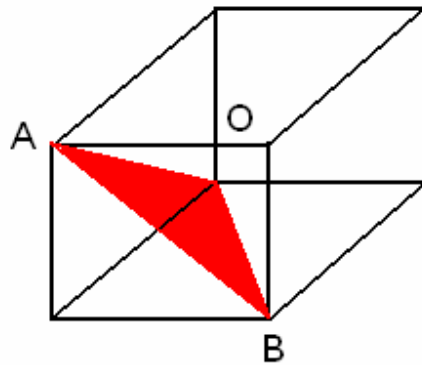
$$7.92 (1) \quad 7.82(2) \quad 7.80(3) \quad 7.6(4)$$

پاسخ : گزینه 1

$$v = a^3 = \left(\frac{4r}{\sqrt{3}} \right)^3 = \frac{64}{3\sqrt{3}} R^3 = \frac{64}{3\sqrt{3}} (0.124 \times 10^{-9})^3 = 2/3 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{2 \times 56}{6/0.2 \times 10^{23} \times 2/3 \times 10^{-23}} = 7/92 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

تست) اندیس میلر صفحه OAB عبارت است از: (کنکور 79)



- (111) (1) $\bar{\bar{1}}\bar{\bar{1}}\bar{\bar{1}}$ (1) (001) (2) $\bar{\bar{1}}\bar{\bar{1}}\bar{\bar{2}}$ (3) (111) (4)

پاسخ : گزینه 1

تست- فاصله بین صفحات (111) در سیستم مکعبی وجوه مرکز دار (f.c.c) برحسب شعاع اتم چقدر می باشد؟ (کنکور 79)

- (1) $\frac{4R}{\sqrt{6}}$ (2) $\frac{\sqrt{2}}{3}R$ (3) $\sqrt{6}R$ (4) $\sqrt{3}R$

پاسخ : گزینه 1

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

$$\sqrt{2a}4R \Rightarrow a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

$$d = \frac{4R}{\sqrt{2}\sqrt{3}} = \frac{4R}{\sqrt{6}}$$

تست) اتم های آهن با ساختار BCC دارای چند عدد همسایگی می باشند. (کنکور 79)

- 10 (1) 6(2) 8(3) 12(4)

پاسخ : گزینه 3

تست) شعاع اتمی 0.127 nm می باشد و در هر سانتیمتر مکعب فضای اشغالی اتم مس 0.85×10^{23}

متراکم می شود. ضریب تراکم مس کدام است؟ (کنکور 80)

- 47(1) 0.5(2) 74(3) 1(4)

$$r = 0.127 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

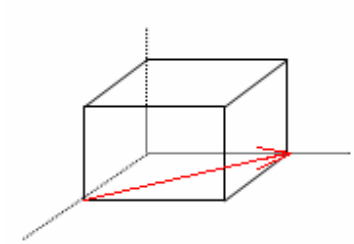
$$v = 1 \text{ cm}^3 \quad pf = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \times 0.85 \times 10^{23}}{1} = 0.74$$

$$n = 0.85 \times 10^{23}$$

پاسخ : گزینه 3

تست) کدام گزینه معرف جهت نشان داده شده در شکل است؟ (کنکور 80)

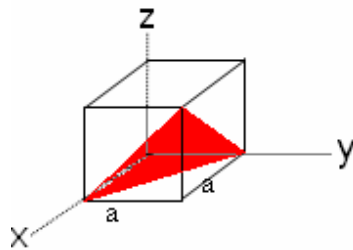
$$\begin{bmatrix} \bar{1} \\ 101 \end{bmatrix}_{(4)} \quad \begin{bmatrix} \bar{1} \\ 111 \end{bmatrix}_{(3)} \quad \begin{bmatrix} \bar{1} \\ 10\bar{1} \end{bmatrix}_{(2)} \quad \begin{bmatrix} \bar{1} \\ 110 \end{bmatrix}_{(1)}$$



پاسخ : گزینه 1

تست) علامت صفحه ABC بر مبنای میلر (Miller) کدام است؟ (کنکور 80)

$$\begin{bmatrix} \bar{1} \\ \bar{1} \\ \bar{1} \end{bmatrix}_{(4)} \quad \begin{bmatrix} \bar{1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}_{(3)} \quad \begin{bmatrix} \bar{1} \\ \bar{1} \\ 1 \end{bmatrix}_{(2)} \quad \begin{bmatrix} \bar{1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}_{(1)}$$

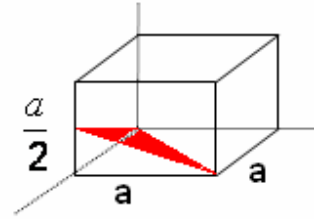


$\begin{bmatrix} \bar{1} \\ \bar{1} \\ \bar{1} \end{bmatrix}$
پاسخ :

نکته: محور مختصات تغییر می یابد (گزینه ها غلط می باشند)

تست) اندیس میلر (Miller) صفحه نشان داده شده کدام است؟ (کنکور 81)

- (1) $(11\bar{2})$ (2) $(\bar{2}\bar{2}1)$ (3) $(\bar{1}\bar{1}\bar{2})$ (4) $(\bar{2}\bar{2}\bar{1})$



پاسخ : گزینه 1

تست) تک کریستالی با شبکه FCC و حجم v در یک تحول آلوتروپیک به شکل مکعبی ساده با حجم

v' تحول می یابد. نسبت $\frac{v'}{v}$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (کنکور 82)

- (1) 2 (2) $\frac{3}{4}$ (3) $\frac{3}{2}$ (4) $\frac{3}{2}$

پاسخ : گزینه 4

$$\frac{v'}{v} = \frac{4V_{S.C}}{V_{F.C.C}} = \frac{4(2r)^3}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}}R\right)^3} = \sqrt{2} = 1/4$$

تست) کدام گزینه طول بردار برگرز را برای فلز نقره با ساختار کریستالی f.c.c و پارامتر شبکه ای مشخص می نماید. (کنکور 81)

- a (4 0.707 a (3 77.7 a (2 0.866 a (1

پاسخ : گزینه 3

$$b = \frac{\sqrt{2}}{2} a = 0.707a$$

تست) نسبت طول بردار برگرز به پارامتر شبکه ای در ساختارهای SC، BCC، FCC به ترتیب برابر است

با

$$\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 1 \quad (2) \qquad \frac{\sqrt{3}}{2}, 1, \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (1)$$

$$1, \frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (4) \qquad \frac{\sqrt{2}}{2}, 1, \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3)$$

پاسخ : گزینه 4

$$\text{fcc} : |b| = \frac{a\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\text{Bcc} : |b| = \frac{a\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{SC} : |b| = a \Rightarrow \frac{b}{a} = 1$$

عیوب شبکه کریستالی:

از نظر کریستالوگرافی، کریستالی که دارای ساختار شبکه ای کاملاً منظم از تکرار سول واحد باشد، کریستال ایده ال نامیده می شود. اما یک چنین کریستالی در طبیعت به ندرت یافت می شود و عموماً تمام کریستالها دارای عیوب مختلفی هستند که تاثیر عمده و بسزایی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی کریستالها دارند. با کنترل عیوب شبکه می توان فلزات و آلیاژهایی با استحکام بالا، مغناطیسهایی با قدرت بیشتر و دیگر مواد با خواص صنعتی بهتر تولید کرد.

عیوب شبکه کریستالی را نسبت به ابعادی که دارد می توان به ترتیب زیر تقسیم بندی کرد:

1- عیوب نقطه ای (عیوب صفر بعدی)

2- عیوب خطی (عیوب یک بعدی)

3- عیوب سطحی (عیوب دو بعدی)

4- عیوب فضایی (عیوب سه بعدی)

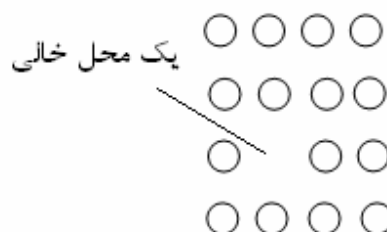
عیوب فوق در اغلب حالات در اثر عوامل خارجی بوجود می آیند ، به عنوان مثال رشد غلط کریستالها در مواقع انجماد سریع و غیره

1- عیوب نقطه ای:

الف) عیوب جای خالی:

محل‌های خالی اتمی در شبکه کریستالی از مهمترین و ساده ترین عیوب نقطه ای هستند، چنین عیوبی می تواند در مواقع انجماد (بخصوص سرد کردن با سرعت زیاد (از درجه حرارت‌های بالا)، تغییر شکل، اشعه دادن با اشعه ای که دارای انرژی زیاد است و یا در درجه حرارت‌های بالا به وجود می آید. محل خالی را در شبکه کریستالی معمولاً با علامت □ مشخص می کنند. البته هر کریستال در شرایط تعادلی خود دارای تعدادی جای خالی است. که تعداد این جاهای خالی قابل محاسبه است.

برای بدست آوردن یک محل خالی باید اتم را به طریقی از محل خود در شبکه خارج سازیم. در شکل زیر یک محل خالی نشان داده شده است .



بدین منظور مقداری انرژی لازم است که انرژی تشکیل محل خالی نامیده می شود.

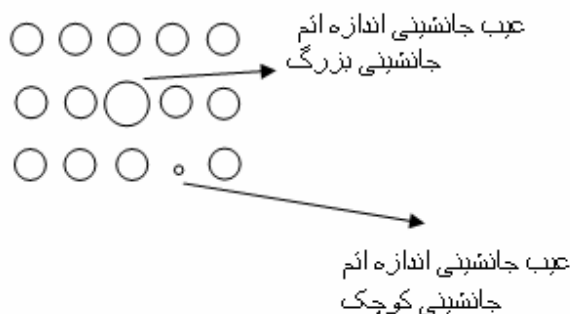
(ب) عیب بین نشینی: Interstitial Defect

نوع دیگر از عیوب نقطه ای، عیب بین نشینی است که در اثر قرار گرفتن یک اتم در فضای موجود بین اتم های شبکه به وجود می آید. شرط اولیه برای قرار گرفتن یک اتم ثالث به صورت بین نشینی در بین اتم های شبکه اصلی به اندازه کافی کوچکتر بودن شعاع اتمی آن از اتم های اصلی شبکه است. به عنوان مثال می توان قرار گرفتن اتم های کربن در شبکه مکعب با وجوه مرکز دار آهن را نام برد. این گونه عیوب می

تواند باعث کجی یا تغییر شکل موضعی در ساختار شبکه کریستال شود، عیب بین نشینی بیشتر در شبکه هایی با ضریب تراکم پائین دیده می شود.

ج) عیب جانشینی: substitutional Defect

اتم های ناخالصی های موجود در یک کریستال ممکن است در محل های خالی به جای اتم های شبکه و یا در فضاهای موجود بین اتم های شبکه قرار گیرد که در حالت اول شعاع اتم جانشینی می تواند تقریباً اندازه شعاع اتم های اصلی شبکه باشد.



2- عیوب خطی

A) ناجایی لبه ای یا خطی

در شبکه کریستالی، ناجایی ها عیوبی هستند که در امتداد یک خط در شبکه دیده می شوند، بدین جهت است که جزء عیوب خطی به شمار می آیند.

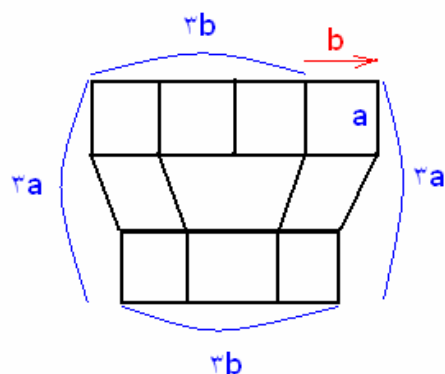
ناجایی لبه ای را می توان از نظر هندسی انتهای یک نیم صفحه اتمی اضافی که بین دو صفحه اتمی از یک شبکه قرار گرفته و یا به عبارت دیگر عدم وجود یک قسمت از یک صفحه اتمی در شبکه کریستالی فرض

کرد. بدین صورت در شبکه نقایصی به نام خطوط نابجایی به وجود می آید. یک خط نابجایی را با علامت \perp نشان می دهند.

در این علامت خط عمود در جهت نیم صفحه اضافی است و خط افقی صفحه اتمی شبکه را (در بحث تغییر شکل صفحه لغزش مینامیم). که عمود بر آن است نشان داده و خط نابجایی همان فصل مشترک این دو صفحه است. کمیتی که برای تعیین مقدار و جهت این عیب به کار می رود یک کمیت برداری است که به

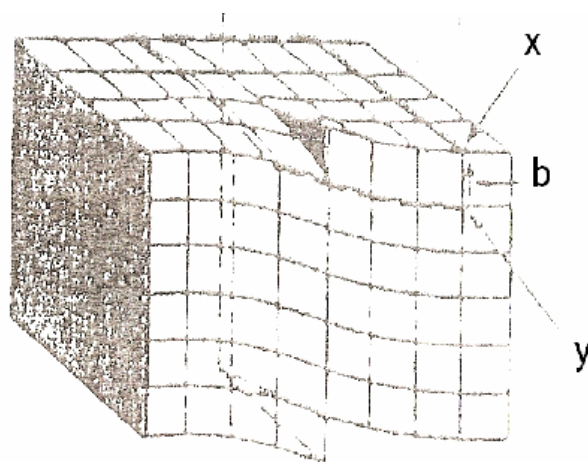
نام بردار برگرز (\vec{b}) نامیده می شود. مقدار و جهت این بردار به کمک طی مسیری حول خط نابجایی تعیین می شود. بدین منظور نقطه ای را برای شروع مسیر بر روی شبکه انتخاب کرده و همانگونه که در شکل نشان داده شده فواصل اتمی مساوی را در جهات قائم و افق (به نام دور برگرز) طی می کنیم. برداری که نقطه پایان مسیر را به شروع وصل کند، بردار برگرز را نشان می دهد. چنانچه شبکه کریستال فاقد این نقص می بود در انتها مسیر با تعداد فواصل اتمی مساوی در تمام جهات به نقطه شروع می رسیدیم. اندازه این بردار مضرب صحیحی از واحد شبکه و جهت آن عمود بر خط نابجایی است.

نسبت به جهاتی که خطوط نابجایی و بردار برگرز با یکدیگر دارند نابجایی ها به نابجایی لبه ای، نابجایی پیچی و نابجایی مختلط تقسیم بندی می شوند. در نابجایی لبه ای بردار برگرز عمود بر خط نابجایی است.

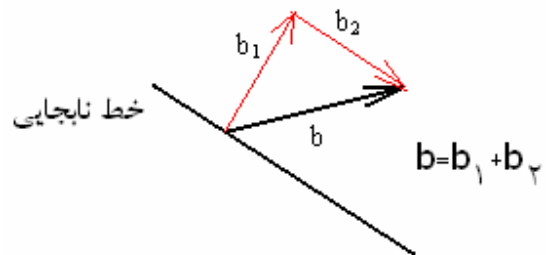


(B) ناجایی پیچی:

شکل زیر یک ناجایی پیچی را نشان میدهد. این ناجایی بدین جهت پیچی نامیده می شود که صفحات اتمی عمود بر خط ناجایی کاملاً جدا از یکدیگر نبوده بلکه یک سطح پیچیده را نشان می دهد و یا می توان چنین تصور کرد که دو قسمت از یک شبکه کریستالی در جهت مخالف بر روی یکدیگر لغزیده است به طوری که این لغزش تنها بر روی یک صفحه در جهت موازی خط ناجایی به اندازه یک فاصله اتمی انجام گرفته و اتم ها مجدداً در ردیف هم قرار می گیرند و بدین ترتیب ناجایی پیچی به وجود می آید. در این حالت یک ضلع دو صفحه کاملاً بر هم منطبقند پیمودن یک دور بر گرز به همان گونه که در ناجایی لبه ای گفته شد نشان می دهد که در ناجایی پیچی بردار برگرز موازی خط ناجایی است و مقدار آن برابر گام پیچ است.



(C) ناجایی مختلط:



b_1 : نابجایی لبه‌ای

b_2 : نابجایی پیچی

تمام نابجایی‌های مختلط از پیوستن نابجایی‌های لبه‌ای و پیچی به یکدیگر به وجود می‌آیند. حالات مختلف این نابجایی به زاویه بین بردار برگرز با خط نابجایی بستگی دارد. هرگاه یک دور برگرز شامل چندین نابجایی شود بدین ترتیب بردار برگرز که از آن نتیجه می‌شود برابر حاصل جمع بردار برگرزهای هر یک از نابجایی‌ها است.

3- عیوب صفحه‌ای:

(a) عیوب لایه‌ای (نقص در چیده شدن)

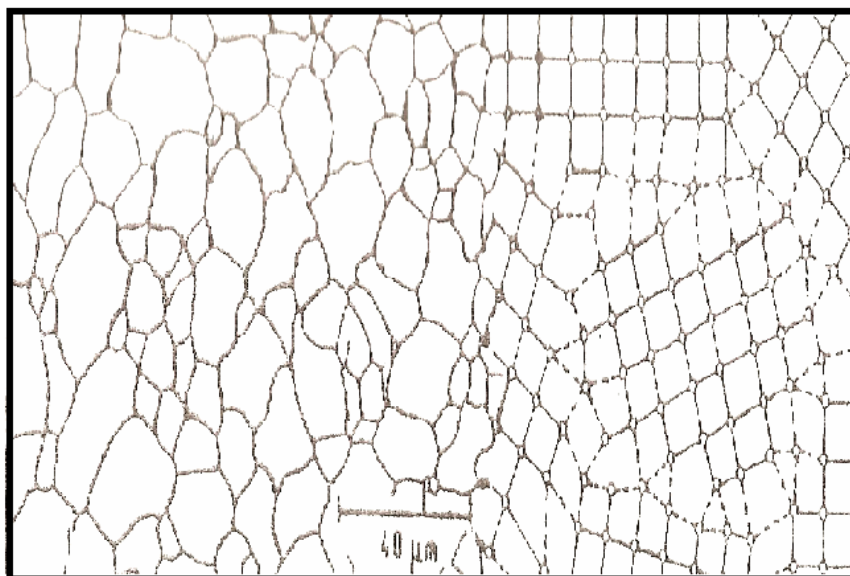
عیب لایه‌ای از قرار گرفتن بدون نظم و ترتیب صفحات اتمی بر روی یکدیگر به وجود می‌آید. بدین ترتیب که در قسمتی از کریستال یکی از لایه‌ها وجود ندارد. برای مثال در سیستم هگزاگونال متراکم تکرار صفحات به صورت $ABBABAB \dots$ درمی‌آید در صورتی که تکرار عادی لایه‌ها به صورت $ABABAB \dots$ است و یا در سیستم مکعب با وجوه مرکز دار با وجود این عیب تکرار صفحات اتمی به صورت $ABCBCABC \dots$ درمی‌آید در صورتی که تکرار منظم لایه‌های اتمی در این نوع سیستم به صورت $ABCABCABC \dots$ است.

همان طور که مشاهده می شود در هر دو حالت فوق صفحه اتمی A در قسمتی از کریستال وجود ندارد.

(b) مرز دانه ها

یکی دیگر از عیوب دو بعدی که اهمیت زیادی در خواص مکانیکی مواد دارد، مرز دانه ها است. چنانچه می دانیم تقریباً تمام مواد شامل تعداد زیادی دانه های بلورند و یا به عبارتی دیگر چند کریستالی (polycrystal) هستند و جهت گیری آرایش اتمی یا شبکه کریستالی در دانه هایی که مجاور یکدیگر قرار گرفته اند، متفاوت است.

هر یک از دانه ها با مرزهایی از دانه های مجاورش جدا شود، (شکل زیر) مرزدانه ها را نمایان می سازد. نوع شبکه هر دانه یکسان است، اما جهت گیری شبکه ها متفاوت است.



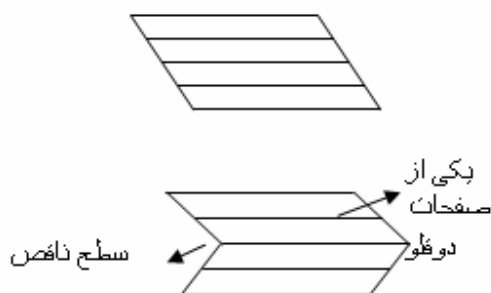
الف

ب

الف (مرزدانه ها در ساختار میکروسکوپ

ب) تصویر شماتیک از دانه - مرزدانه ها

(C) مرز دوقلوها: در صورتیکه دو قسمت از کریستال نسبت به یک سطح طوری تغییر فرم دهند که یکی از آنها تصویر دیگری نسبت به آن سطح باشد به آن دو قسمت از کریستال دو قلو گفته می شود.



4- عیوب فضایی یا سه بعدی

اینگونه عیوب، فضاهای خالی میکروسکوپی و ماکروسکوپی مانند حفره های انقباضی کوچک داخلی، حفره های زیر سطحی که در اثر خروج گازها پدید می آید، ترکهای مویی و از این قبیل عیوب است به عنوان مثال در اثر تاثیر متقابل چندین نابجایی مخصوصاً موقعی که تحت تاثیر بارهای خارجی متناوب قرار گیرد ، یک شکاف ریز به وجود می آید.

تنها عیوب ساده جای خالی می تواند در حالت تعادل حرارتی به وجود آید در صورتی که بقیه عیوب شبکه ای که از لحاظ ترمودینامیکی در حالت تعادل نیستند تحت تاثیر عوامل خارجی تشکیل می شوند. بدین ترتیب مرز دانه ها می توانند در کریستالیزاسیون یا هنگام انجماد دو نابجایی ها در موقع تغییر شکل پلاستیکی به وجود آیند.

خواص مکانیکی فلزات:

عکس العمل مواد جامد در مقابل نیروها، گشتاورها و یا به طور کلی هر نوع تنشهای خارجی وارد بر آن، اعم از استاتیکی و یا دینامیکی، در شرایط خاص محیط کار یا محیط آزمایش، رفتار یا خواص مکانیکی نامیده می شود.

این علم به بررسی پاسخ فلزات نسبت به اعمال نیروهای خارجی می پردازد اساساً بدون وجود فلز عملاً توانایی ایجاد ماشین (ماشین در مفهوم کل آن) را نداریم.

قاعده کلی در مورد فلزات:

اگر قطعه ای را تحت اثر یک نیروی فزاینده قرار دهیم و در زمانهای معین نیرو را قطع و وضعیت قطعه را بررسی کنیم ملاحظه خواهیم کرد.

1- تا مقدار معینی از نیرو جسم شکل اولیه خود را پس از رها شدن از قید نیرو باز خواهد یافت. (رفتار الاستیک یا رفتار کششان فلز)

2- در صورتیکه اندازه نیروی اعمالی از حد معینی بگذرد پس از حذف نیرو تغییرات پایدار در ابعاد نمونه ایجاد خواهد شد (رفتار پلاستیک یا مومسان)

3- اگر همچنان به افزایش نیرو ادامه دهیم هنگامی که نیرو به مقدار معینی برسد قطعه شکسته خواهد شد.

-الاستیسیته:

مفروضاتی که در این علم برای ساده کردن معادلات در نظر گرفته می شوند عبارت است از:

- 1- جسم پیوسته است: یعنی جسم حاوی حفره و یا جاهای خالی از هیچ نوع نیست.
- 2- جسم هموزن است: یعنی تمام نقاط جسم دارای خواص یکسان است.
- 3- جسم ایزوتروپ است: خواص جسم در جهات مختلف یکسان است.

مفاهیم اولیه:

1- نیرو: نیرو توسط اثر متقابل 2 یا چند جسم به یکدیگر مورد سنجش قرار میگیرد.

دو نوع نیروی خارجی وجود دارد:

یکی: نیروهایی که بر سطح جسم اثر می گذارند (فشار دادن میز با کف دست)

دیگری: نیروهایی که روی تمام ذرات جسم اثر می گذارد. (نیروی مغناطیسی و نیروی جاذبه)

2- تنش stress

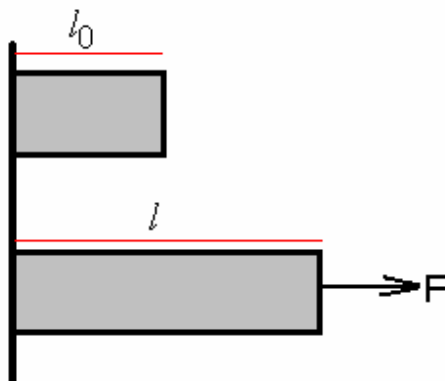
تنش عبارت است از نیروی اعمال شده بر واحد سطح

$$\text{تنش} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}} = \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

3- کرنش strain

کرنش عبارتست از افزایش طول در واحد طول

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad \text{Engineering strain}$$



اگر وزنه ای را به یک قطعه فلزی آویزان کنیم نیرو به سطح مقطع وارد می شود نه به تک تک ذرات، بنابراین نیرو با سطح متناسب است.

علاوه بر کرنش مهندسی کرنش دیگری وجود دارد که موسوم به کرنش حقیقی است، کرنش حقیقی عبارتست از مجموع کرنش های جزئی :

$$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} + \frac{l_2 - l_1}{l_1} + \frac{l_3 - l_2}{l_2} + \dots$$

اگر کرنش های جزئی را بسیار کوچک در نظر بگیریم جمع کرنش ها را می توان به صورت انتگرال روبرو نشان داد.

$$\Rightarrow \epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$

$$\epsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad \text{true strain} \quad \text{کرنش حقیقی}$$

ارتباط بین کرنش حقیقی و مهندسی:

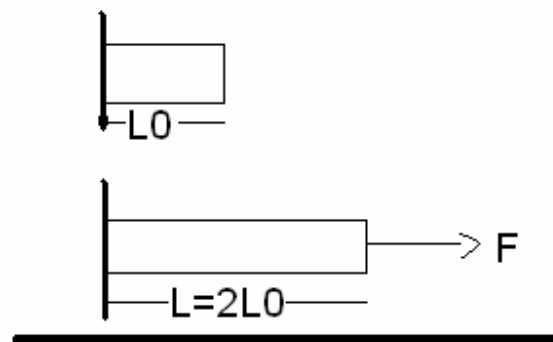
$$e = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1 \Rightarrow \frac{L}{L_0} = 1 + e$$

$$\varepsilon = \ln \frac{L}{L_0} = \ln(1 + e) = e - \frac{e^2}{2} + \frac{e^3}{3} - \frac{e^4}{4} \dots$$

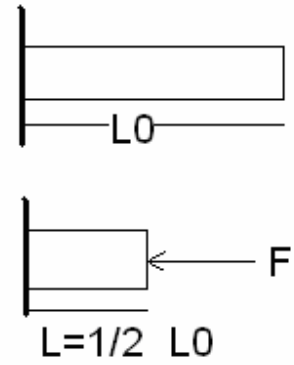
$$e < 0.1 \Rightarrow \varepsilon \cong e$$

l_0

مثال) دو میله به طول l_0 موجود است، طول یکی از آنها را تحت اثر نیروی کششی به دو برابر و طول میله دوم را تحت اثر نیروی فشاری به نصف تقلیل می دهیم. در هر یک از حالات فوق مقدار کرنش های حقیقی و مهندسی را محاسبه کنید.



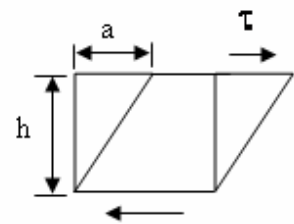
$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{2L}{L} = \ln 2 \\ e_1 = \frac{l - l_0}{l_0} = 1 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{\frac{1}{2} L_0}{L_0} = \ln \frac{1}{2} = -\ln 2 \\ e_1 = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\frac{1}{2} l_0 - l_0}{l_0} = -\frac{1}{2} \end{array} \right.$$

کرنش برای نیروهای فشاری منفی و برای نیروهای کششی مثبت است.

تغییر شکل برشی: shear strain



$$\gamma = \frac{a}{h} = \text{tg} \alpha = \alpha$$

$\gamma : \tau$

میزان تغییر شکل برشی جسم تحت اثر تنش برشی

ارتباط بین تنش ها و کرنش ها:

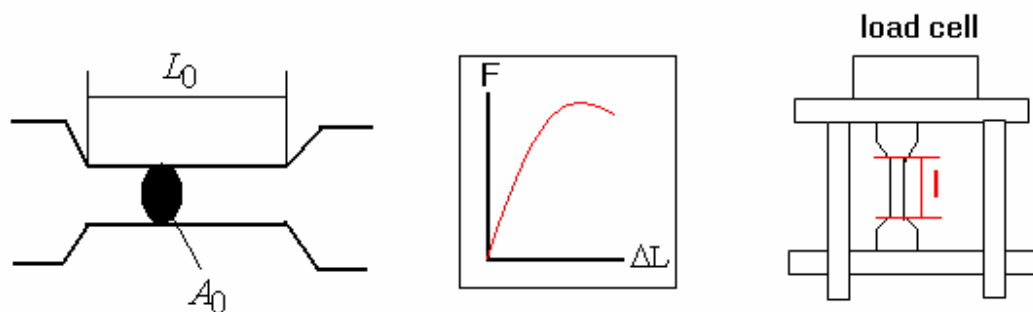
ارتباط بین تنش اعمال شده و میزان کرنش ایجاد شده در هر جسم در ناحیه الاستیک را می توان توسط ضرائب الاستیک برقرار نمود.

ثوابت الاستیک:

E مدول الاستیسیته : این مدول ارتباط بین تنش های عمودی و کرنش ها را برقرار می سازد.

آزمایش کشش Tension Test

برای انجام آزمایش کشش لازم است نمونه ای از فلز مورد نظر را تهیه کرده و به کمک دستگاه کشش آزمایش را انجام می دهیم.

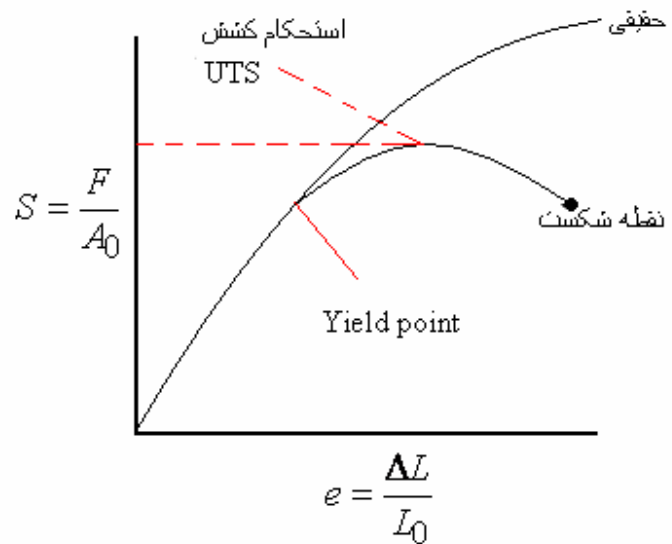


A_0 : سطح مقطع مفید

L_0 : طول مفید نمونه

پس از انجام آزمایش کشش دو نمودار به شکل زیر بدست می آید.

1- نمودار کششی مهندسی:



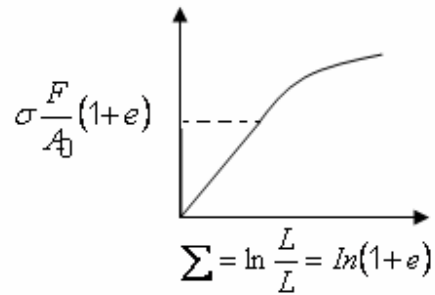
تنش تسلیم: نیرویی است که اگر به جسم وارد شود اولین آثار تغییر شکل دائمی در آن مشاهده می گردد.

استحکام کششی عبارتست از ماکزیمم تنش موجود روی نمودار کششی مهندسی Ultimate Tensile

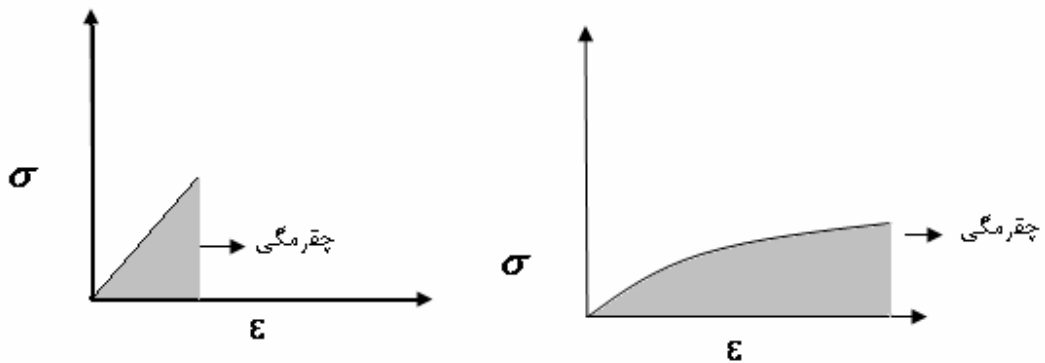
Strength به گونه که پس از آن حتی اگر تنش کاهش یابد طول قطعه همچنان افزایش می یابد.

2- نمودار کششی حقیقی:

در اینجا نیز نقطه متناظر با هر نقطه از نمودار صفحه قبل را بدست می آوریم.



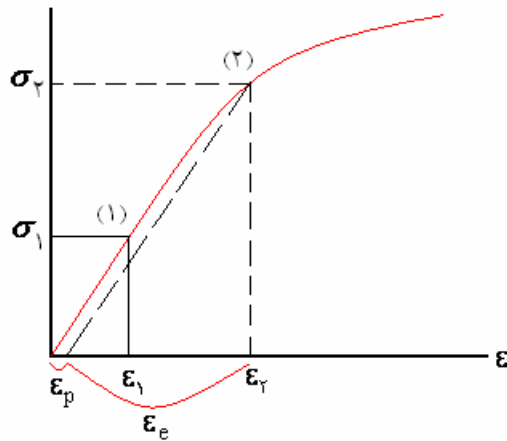
توجه شود که این دو نمودار رفتار ماده را در ازای اعمال نیرو از نقطه صفر تا هنگام پاره شدن نشان میدهد. نکته: چقرمگی عبارتست از سطح زیر نمودار تنش- کرنش یا به عبارتی مقدار انرژی جذب شده توسط ماده تا مرحله شکست را گویند. بر این اساس با توجه به مقایسه نمودار تنش کرنش اجسام ترد و کشسان می توان نتیجه گرفت که چقرمگی اجسام کشسان بیشتر است.



بررسی پاسخ فلز نسبت به اعمال و حذف نیروهای خارجی با توجه به نمودار کشش جسم:

1- بررسی اعمال و حذف نیرو در ناحیه خطی نمودار (نقطه 1)

تحت اثر تنش σ_1 کرنشی برابر با ϵ_1 در نمونه ایجاد می کند در این حالت اگر تنش حذف شود کرنش ϵ_1 نیز معادل صفر خواهد شد.



بنابراین در قسمت خطی نمودار که ناحیه الاستیک نامیده می شود رابطه ای خطی به صورت زیر تعریف

$$\sigma = E\varepsilon$$

می شود یعنی : قانون هوک

ضریب زاویه خط OA (مدول الاستیک جسم): E

2- بررسی اعمال و حذف نیرو در نقطه 2 (قسمت غیر خطی نمودار):

تحت اثر تنش σ_2 کرنش ε_2 در نمونه ایجاد می شود.

حال اگر تنش σ_2 را از روی نمونه برداریم، ملاحظه می شود که مقدار کرنش پلاستیک ایجاد شده در نمونه

برابر با ε_p است و مقدار ε_e (کرنش الاستیک تحت اثر تنش σ_2) حذف میشود.

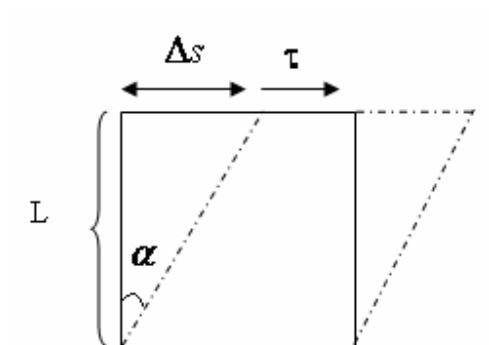
بنابراین به طور کلی می توان گفت که:

-ناحیه خطی نمودار منطقه کشسان یا الاستیک است.

-ناحیه غیر خطی نمودار منطقه موم سان یا پلاستیک است.

II) مدول برشی shear modulus

تشابه ارتباط بین تنش و کرنش در ناحیه الاستیک و تنش برشی و تغییر شکل برشی را از رابطه زیر می توان دریافت.



$$\gamma = \frac{\Delta s}{L} = \text{tg} \alpha \cong \alpha$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

داشتیم

در این حالت نیز در ناحیه الاستیک خواهیم داشت

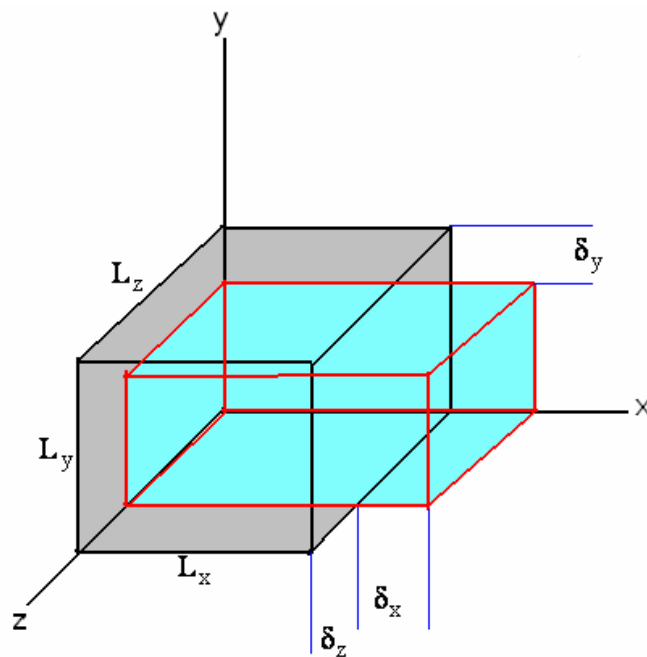
$$\tau = G \cdot \gamma$$

مدول برشی G:

III) ضریب پواسون (Poisson's Ratio)

این ضریب ارتباط بین کرنش ایجاد شده در جهت اعمال نیرو را با سایر جهات برقرار می سازد.

$$\varepsilon_x = \frac{\delta_x}{L_x} \quad \varepsilon_y = \frac{\delta_y}{L_y} \quad \varepsilon_z = \frac{\delta_z}{L_z}$$



با توجه به خواص ایزوتروپ جسم خواهیم داشت :

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z$$

$$\frac{-\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = \text{cte} = \nu = \frac{1}{3}$$

آزمایشات نشان داده است که

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\nu\varepsilon_x$$

$$\nu = 0.5$$

می توان ثابت کرد که در شرایط حجم ثابت

(VI) مدول حجمی (Bulk Modulus)

مدول حجمی ارتباط بین میزان فشار هیدرواستاتیکی اعمال شده روی جسم را با تغییر حجم نسبی ایجاد شده در آن برقرار میسازد.

$$B = \frac{-P}{\frac{\Delta V}{V}} = \frac{-P}{\Delta}$$

درجائیکه:

Δ : تغییر حجم نسبی

P: میزان فشار هیدروستاتیکی

B: مدول حجمی

ΔV

تغییرات حجمی جسم تحت اثر فشار هیدروستاتیکی P :

پلاستیسیته plasticity

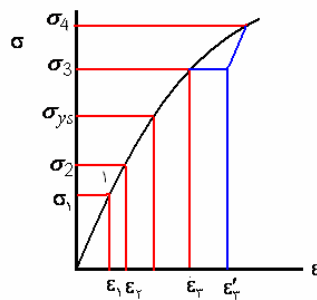
دو تفاوت عمده بین رفتار الاستیک و پلاستیک موجود است.

یکی: در الاستیسیته پس از حذف نیرو روی جسم، جسم به ابعاد اولیه خود باز خواهد گشت در صورتی که در رفتار پلاستیک اینچنین نیست.

دیگری: در الاستیسیته مقدار کرنش نهایی ایجاد شده در جسم وابسته به میزان تنش نهایی است لکن در پلاستیسیته مقدار کرنش ایجاد شده وابسته به تاریخچه اعمال نیرو است.

σ_{ys}

نقطه تسلیم: در این نقطه جسم در آستانه ورود به ناحیه پلاستیک قرار دارد.



I) نقطه (1) را در نظر می‌گیریم مشاهده می‌شود که چه تاریخچه اعمال نیرو $0-\sigma_1$ و چه

باشد میزان کرنش برابر با ϵ_1 است و ارتباطی با تاریخچه اعمال نیرو ندارد.

II) در ناحیه پلاستیک جسم تحت اثر تنش σ_3 قرار دارد در این شرایط مقدار کرنش ایجاد شده در نمونه وابسته به تاریخچه اعمال نیرو است یعنی

اگر $0-\sigma_3$ کرنش ایجاد شده برابر با ϵ_3 است

اگر مسیر $0-\sigma_3-\sigma_4-\sigma_3$ باشد کرنش ایجاد شده برابر با ϵ'_3 است.

مفروضاتی که برای سهولت بررسی در بحث پلاستیسیته در نظر گرفته می‌شود عبارتند از:

- جسم ایزوتروپ و هموزن است.

- قدرمطلق تنش تسلیم در کشش و فشار جسم یکی است.

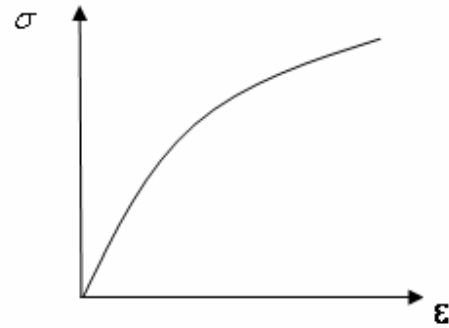
- در تغییر فرم پلاستیک تغییرات حجمی وجود ندارد.

- تنش هیدرواستاتیکی نمی‌تواند منجر به تغییر فرم پلاستیکی در جسم شود.

- از اثر سرعت کرنش صرف‌نظر می‌شود.

رابطه هولمن Holloman

این رابطه جهت معرفی ارتباط تنش کرنش در ناحیه پلاستیک می‌باشد.



$$\sigma = k\varepsilon^n$$

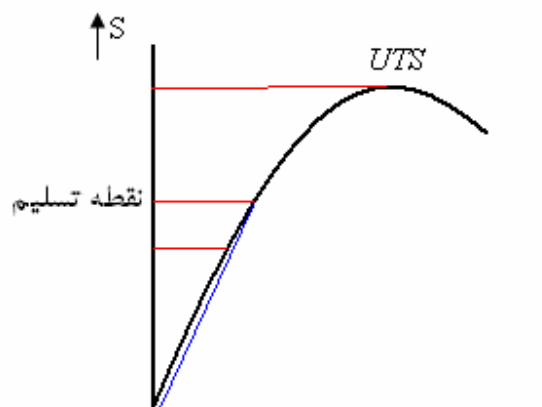
$$n = \text{cte}$$

ضریب کار سختی Strain Hardening Exponent

$k : \text{cte}$

آزمایشهای استاندارد مکانیکی:

1) آزمایش کشش The Tensile Test



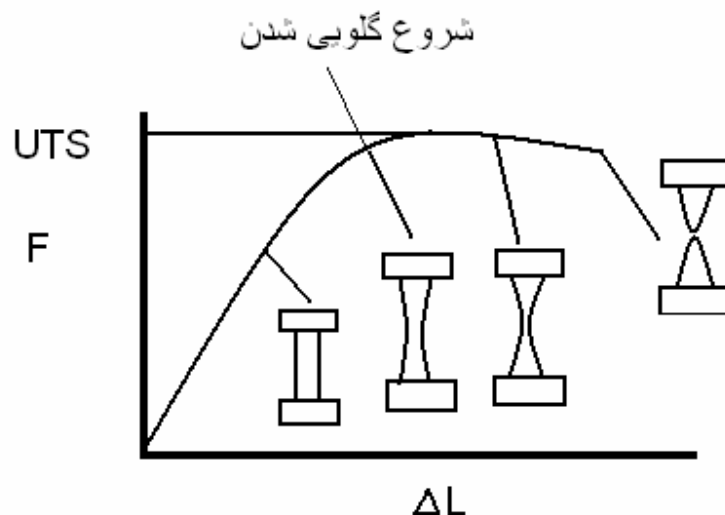
الف) تعیین نقطه تسلیم قراردادی

به دلیل اینکه در اینگونه نمودارها محل دقیق شروع خم شدن نمودار مشخص نمی باشد لذا به صورت قراردادی به جای تنش تسلیم، تنشی که موجب تغییر فرم پلاستیک کمی (0.02% - 0.01%) در نمودار می شود را در نظر گرفته و به عنوان نقطه تسلیم قراردادی مورد استفاده قرار می دهند.

$$e = 0.002 = \frac{L - L_0}{L}$$

ب) باریک شدن نمونه Nacking

در ضمن آزمایش کشش فلزات مشاهده می شود هنگامی که نیروی اعمالی روی نمونه به مقدار حداکثر خود برسد در قسمت کوچکی از نمونه نیز سطح مقطع بیشتری نسبت به سایر قسمت ها شروع خواهد شد. این مرحله همچنان تا شکسته شدن نمونه جلو خواهد رفت.



$$\sigma = k\varepsilon^n$$

خواهیم داشت $n =$

نکته: در نقطه شروع گلوبی شدن براساس رابطه هولمن

2- آزمایش سختی سنجی The Hardness Test

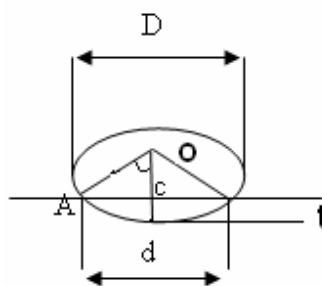
سختی به عنوان مقاومت یک ماده در مقابل تغییر شکل پلاستیکی و یا فرو رفتن ماده سخت تر دیگری در آن تعریف شده است.

روش های سختی سنجی:

الف) سختی برینل

در سختی برینل از یک ساچمه فولادی سخت شده به قطر D به عنوان فروشونده استفاده می شود که با نیروی F به آرامی به طور یکنواخت (بدون ضربه) بر سطح صیقلی شده قطعه مورد آزمایش به صورت عمودی فشار داده خواهد شد. پس از حذف نیرو و برداشتن ساچمه از روی قطعه ابتدا مقدار تغییر شکل الاستیکی بازگشت کرده و تغییر شکل پلاستیکی به صورت حفره ای به قطر d و عمق t در سطح قطعه مورد آزمایش بر جای باقی می ماند.

قطر اثر ایجاد شده توسط میکرومتر اندازه گیری و سپس عدد سختی برینل از رابطه زیر بدست می آید.



$$BHN = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح فرورفتگی}} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D t}$$

$$A = \pi D t$$

$$\Delta OAC \Rightarrow \overline{OA}^2 = \overline{OC}^2 + \overline{AC}^2 \Rightarrow \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - t\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$t = \frac{1}{2} \left[D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]$$

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

$$D = 10^{mm}$$

عموماً قطر ساچمه و نیروی اعمال شده $p=3000\text{kg}$ در نظر گرفته می شود.

در آزمایشات از D های دیگری نیز استفاده می شود که عبارتند از :

$$D = 1/25, 2/5, 5^{mm}$$

شرط لازم برای بدست آوردن BHN مساوی در شرائطی که p یا D تغییر کند.

$$\sin \alpha = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{d}{D} \Rightarrow d = D \sin \alpha$$

این نتیجه را در معادله اصلی قرار می دهیم.

$$BHN = \frac{2f}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{D^2}{\sin^2 \alpha}} \right)} = \frac{2}{\pi (1 - \cos \alpha)} \frac{p}{D^2}$$

شرط بدست آمدن BHN یکسان آن است که

$$\left(\text{ثابت مقدار} \frac{2}{\pi (1 - \cos \alpha)} \right) \frac{p}{D^2} = \text{cte}$$

نکته: برای درست مشخص شدن لبه های اثر فرورفتگی می بایست قطر اثر ساچمه (d) بین 0.2 تا 0.7 قطر ساچمه (D) باشد.

نکته: باید توجه کرد که فواصل فرورفتگی های مختلف از یکدیگر حداقل 2 d انتخاب شود تا بدین وسیله از تاثیر مقدار سختی نقاط مجاور بر روی یکدیگر جلوگیری به عمل آید.

نکته: روش برینل برای مواد بسیار نرم و بسیار سخت مناسب نیست. به عنوان مثال برای اندازه گیری سختی چدن‌ها از روش برینل استفاده می شود.

نکته: در این روش محدودیت در ضخامت نمونه وجود دارد به طوری که ضخامت نباید کمتر از 10 برابر عمق فرورفتگی باشد.

نکته: در این روش غیر یکنواختی های بسیار جزئی در نتیجه آزمایش تاثیر ندارد.

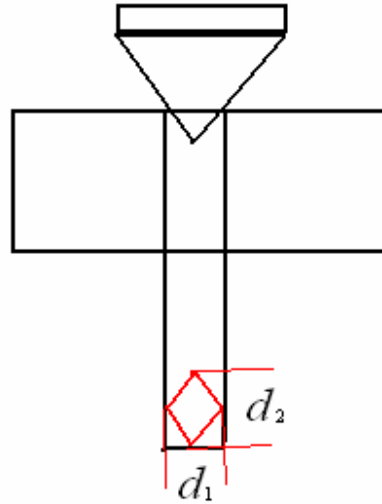
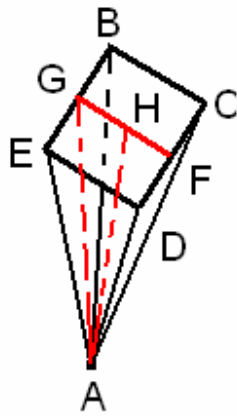
نکته: در این روش میتوان حد تسلیم یا استحکام کششی را به صورت تجربی و با روابط ساده ای تعیین کرد. به عنوان مثال استحکام کششی فولادهای ساختمانی را می توان به طور تقریب از رابطه زیر بدست آورد.

$$\sigma = 3 / 5 \text{BHN} \quad \frac{\text{MN}}{\text{M}^2}$$

ب) سختی ویکرز

در این روش، فروشونده یک هرم مربع القاعده الماسی است. زاویه سطوح جانبی این هرم 136^0 است، نحوه عمل شبیه روش برینل است و عدد سختی از رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{VHN} = \frac{P}{A} = \frac{\text{تیروی فشاری}}{\text{سطح اثر}}$$



$$d = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$$

$$A = r \times a \times \frac{h}{r} = rah$$

ΔAHF

$$\sin \epsilon \lambda^\circ = \frac{a}{h} \Rightarrow h = \frac{a}{r \sin \epsilon \lambda^\circ}$$

$\Delta ABCD$

$$d^2 = a^2 + a^2 \Rightarrow a = \frac{d}{\sqrt{2}} \Rightarrow A = 2 \times \frac{d}{\sqrt{2}} \times \frac{\frac{d}{\sqrt{2}}}{2 \sin 68^\circ}$$

$$A = \frac{d^r}{r \sin \epsilon \lambda^\circ} \Rightarrow VHN = \frac{p}{A} = \frac{p}{\frac{d^r}{r \sin \epsilon \lambda^\circ}} = \frac{1/\lambda \Delta \epsilon p}{d^r}$$

ج) سختی راکول

در اندازه گیری سختی به روش راکول از فروشونده مخروطی شکل الماسی با زاویه 120^0 یا ساچمه ای شکل فولادی سخت شده استفاده می شود. در روش راکول عمق فرورفتگی که در اثر وارد آوردن نیروی مشخصی بر روی نمونه ایجاد شده اندازه گیری و از آن به عنوان مقیاسی برای تعیین سختی راکول استفاده می شود. به عنوان مثال در راکول C ابتدا فروشونده با یک نیروی 10 کیلوگرمی به طور عمودی در سطح جسم فرو می شود و در نتیجه فرورفتگی بسیار ریزی در سطح جسم به وجود می آید. در این موقع عقربه دستگاه را بر روی صفر قرار داده و سپس یک بار 140 کیلوگرمی (در راکول c) و یک بار 90 کیلوگرمی (در راکول B) به نام بار اصلی به آرامی به آن اضافه می شود. سختی پس از وارد آوردن بار اصلی و نگهداشتن آن به مدت لازم برای انجام تغییر شکل پلاستیکی مستقیماً از روی صفحه مدرج نصب شده بر روی دستگاه سختی سنج خوانده می شود

بدین ترتیب عدد سختی راکول معیاری از فرورفتگی پلاستیکی و یا دائمی ایجاد شده در جسم در اثر نیروی اصلی است.

عدد سختی راکول طبق رابطه زیر بدست می آید.

$$R = c_1 - c_2t$$

در این رابطه c_1, c_2 اعداد ثابتی هستند. برای مخروط الماسی $c_1 = 100$ و برای ساچمه فولادی

$$c_1 = 130$$

و c_2 برای هر دو نوع فروشونده برای 500 انتخاب شده است.

نکته: در روش راکول سرعت عمل زیاد است و برای اندازه گیری سختیهای بالا مناسب است.

د) سختی نوپ:

در این روش از فروشونده هرمی شکل از جنس الماسی استفاده می شود، نیروی وارد بر آن بین 15 گرم تا 3 کیلوگرم نیرو است. عدد سختی در این روش از تقسیم نیرو بر تصویر افقی سطح اثر که لوزی شکل است بدست می آید. و به نام عدد سختی نوپ نامیده می شود. در اندازه گیری سطح اثر به سبب کوچک بودن اندازه آن از میکروسکوپ استفاده می شود. برای محاسبه سختی نوپ می توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$HK = 14/229 \frac{F}{d^2}$$

در این رابطه F = نیروی به کار رفته در آزمایش و d = طول قطر بزرگ اثر است.

ه) سختی خراشی:

در این روش مقاومت یک قطعه در ازای خراش برداشتن توسط حجم دیگری مورد سنجش قرار می گیرد و از روی چگونگی خراش، سختی مشخص می شود. این روش معمولاً برای تعیین سختی مواد معدنی به کار می رود. در مقیاس سختی مو (Moh) ابتدا ده سنگ معدنی بر حسب درجه سختی بین 1 تا 10) به صورت زیر مرتب می شود.

- 1- تالک
- 2- گچ
- 3- کالسیت
- 4- فلوریت
- 5- آپاتیت
- 6- فلدسپات
- 7- کوارتز
- 8- یاقوت کبود
- 9-
- 10- الماس

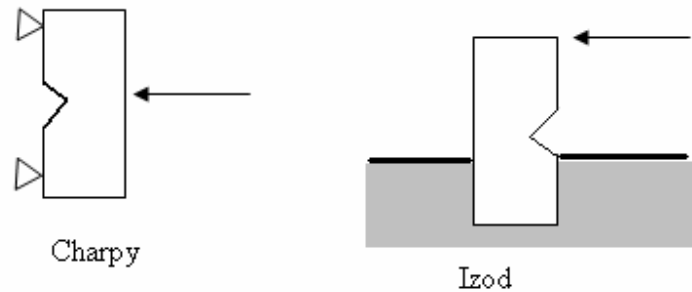
بنابراین مطابق این جدول هر سنگ معدنی قادر به خراش دادن سنگ معدن با درجه سختی کمتر است.

با این روش میتوان درجه سختی مو را برای هر ماده تعیین کرد. برای مثال سختی شیشه معمولی حدود 5.5 و سختی فولاد سخت حدود 6.5 است، ولی واضح است که این روش، روش چندان دقیقی نبوده و به منظور کنترل تولید، مناسب نیست. این روش در معدن شناسی ابتدایی برای شناسایی سنگ معدن به کار می رود.

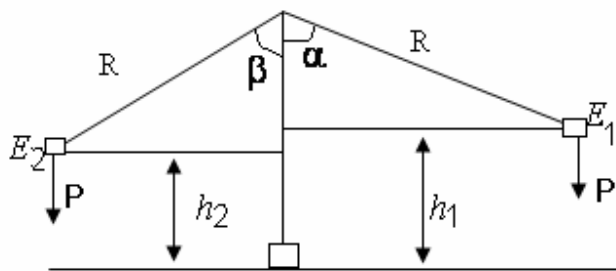
محدوده درجه بندی سختی خراشی بعداً تغییر یافت. بدین صورت که در مقیاس جدید سختی تالک باز هم یک و سختی الماس 15 انتخاب شد و بدین ترتیب محدوده اندازه گیری و سיעتر گشت به طوری که اعداد 14 برای کار بیدبر 13 برای کار بید سیلیسیم، 12 برای کورند، 11 برای زیرکن، 10 برای گارانات، 9 -توپاس 8-کوارتز، 7- شیشه کوارتزی، 6-فلدسپات و بقیه همانند درجه بندی قبلی انتخاب شده است.

3) آزمایش ضربه: the Impact test

یکی از آزمایشاتی که برای تعیین حالت شکست ترد یا نرم فلزات انجام می گیرد آزمایش ضربه است. از مهمترین و متداول ترین روشهای آزمایش ضربه دو روش چارپی و ایزود است. این دو روش تنها در طرز قرار گیری نمونه ها در دستگاه آزمایش ضربه با یکدیگر تفاوت دارد. در روش چارپی نمونه ای به شکل زیر به گونه ای قرار می گیرد که در انتهای نمونه به طور آزاد بر روی تکیه گاه قرار داد. و ضربه توسط آونگی که از نقطه تعادلش منحرف شده به پشت شیار نمونه وارد می شود. در روش ایزود، نمونه به طور عمودی در گیره بسته شده و ضربه اندکی بالاتر از شیار به نمونه وارد می شود.



در هر دو روش مقدار انرژی یا کاری که صرف شکست و یا احیاناً تغییر شکل نمونه شده اندازه گیری می شود. بدین ترتیب که حاصل ضرب وزن آونگ در اختلاف ارتفاع آونگ قبل و بعد از ضربه تعیین می شود. این مقدار انرژی برابر تفاضل انرژی پتانسیل اولیه و انرژی پتانسیل باقیمانده است.



$$E_1 = p.h_1 = mgh_1 = mg(R - R \cos \alpha)$$

$$E_2 = p.h_2 = mgh_2 = mg(R - R \cos \beta)$$

$$E_1 - E_2 = mgR(\cos \beta - \cos \alpha)$$

= انرژی شکست

نکته: در صنعت عموماً از روش charpy استفاده می شود.

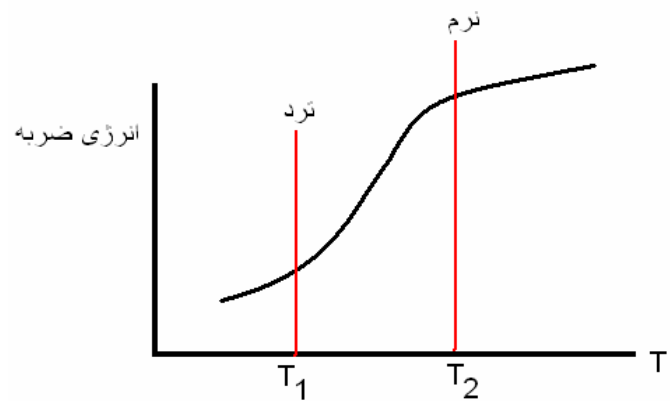
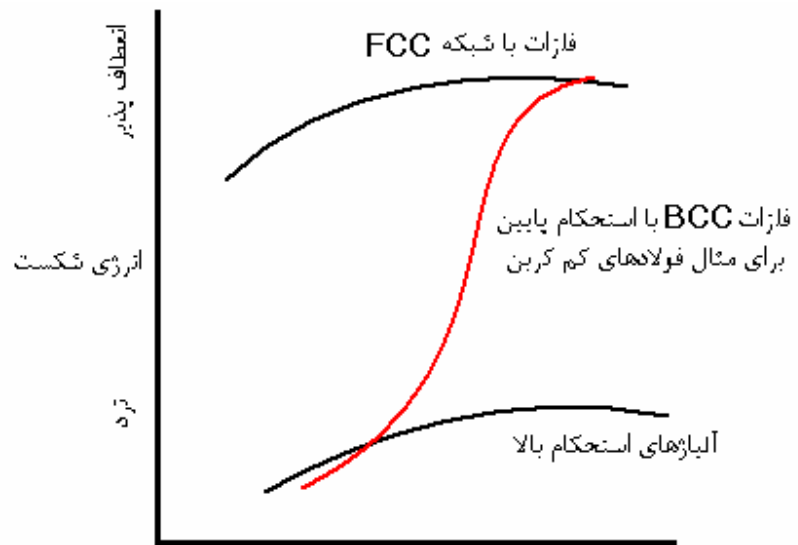
عموماً مقاومت به ضربه ی نمونه بر حسب کار ضربه ای انجام شده بر واحد سطح نمونه محاسبه می گردد.

$$(\alpha k) = \frac{E}{A} = \frac{mgh(\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$

مقاومت به ضربه

بررسی اثرات دما بر روی انرژی ضربه ای:

تعدادی نمونه از جنس یک فلز را در دماهای مختلف قرار داده و آزمایش ضربه را روی آنها انجام می دهیم و سپس نمودار زیر را رسم می کنیم.



- از دمای T_2 به بالا جسم صد در صد نرم است

- از دما T_1 به پایین جسم صد در صد ترد است.

دمای تبدیل حالت نرم به ترد (DBTT)

روشهای مختلفی برای تعیین دمای تبدیل نرم به ترد وجود دارد.

1- متوسط T_1 و T_2 را در نظر میگیریم

2- میانگین انرژی شکست معادل با دو دمای T_1 و T_2 را در نظر گرفته دمای مناسب با آن را محاسبه می کنند.

3- متداولترین روش آن است که دمائی را دمای DBTT در نظر می گیرند که در آن دما نصف سطح شکست بصورت نرم و نصف آن بصورت ترد شکسته شده است.

مثال) در صورتی که ابعاد نمونه شاری $10 \times 8 \text{ mm}^2$ باشد ، وزن پاندول 4 kg و طول آن 90 cm و زاویه پاندول قبل از رها کردن با محور قائم 45° و زاویه آن بعد از شکستن 30° باشد.

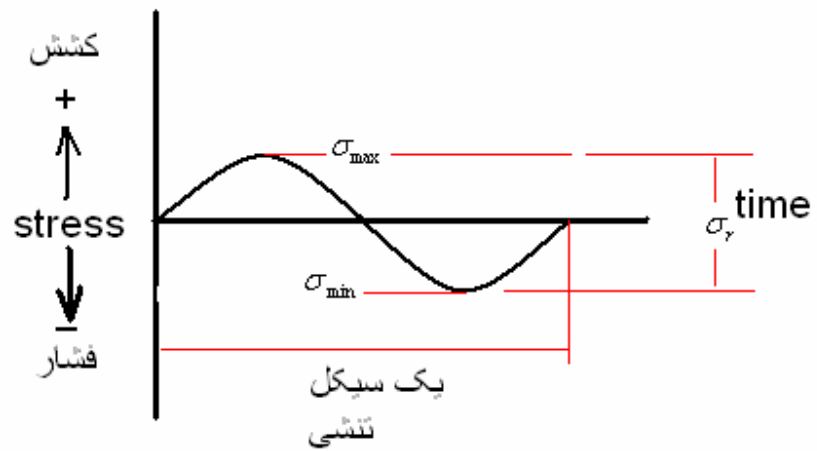
مقاومت به ضربه قطعه چند کیلوگرم متر بر سانتیمتر مربع است.

$$\text{مقاومت به ضربه} = \frac{mgh(\cos \beta - \cos \alpha)}{A} = \frac{4 \times 0.9(0.866 + 0.707)}{0.8} = 7$$

خستگی : Fatigue

خستگی عبارتست از شکسته شدن قطعات فلزی در اثر اعمال تنشهای متغیر متناوب روی آنها. عموماً

حداکثر تنش اعمال شده در هر سیکل تنشی کمتر از نقطه تسلیم جسم خواهد بود



خزش: creep

خزش عبارتست از تغییر فرم پلاستیک مداوم اجسامی که تحت اثر تنش ثابتی قرار دارند. این پدیده خصوصاً در دمای بالا اهمیت ویژه دارد.

چند تست:

تست: در کدام روش سختی سنجی ابزار فرورونده مربوطه هرم مربع القاعده است؟ (آزاد76)

- (1) راکول (2) ویکرز (3) برینل (4) موهس

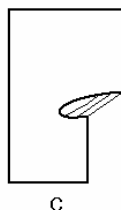
پاسخ: گزینه 2

تست: پدیده خستگی در فلزات به خاطر کدام عامل است؟ (کنکور 78)

- (1) اعمال نیروی متناوب
 (2) اعمال نیرو ثابت در دمای بالا
 (3) افزایش کرنش در فلز با گذشت زمان
 (4) سرد کردن سریع فلز به دمای زیر صفر درجه سانتیگراد

پاسخ: گزینه 1

تست: کدام گزینه درباره شکل مقابل صحیح است؟ (کنکور 79)



- (1) A: صفحات اتمی کامل، B: نابجایی پیچی، C: نابجایی لبه ای
 (2) A: صفحات اتمی کامل، B: نابجایی لبه ای، C: نابجایی پیچی
 (3) A: نابجایی لبه ای، B: صفحات اتمی ناقص، C: نابجایی پیچی
 (4) A: صفحات اتمی کامل، B: صفحات اتمی ناقص، C: نابجایی لبه ای

پاسخ: گزینه 2

تست: حداکثر نیرویی که باعث تغییر شکل موقت در یک جسم می شود کدام است؟ کنکور آزاد 76

1) حد الاستیسیته 2) حد پلاستیسیته 3) حداکثر تحمل 4) حد پارگی

پاسخ: گزینه 1

تست: روش برینل معمولاً برای سختی آلیاژهای کدام فلز مورد استفاده قرار می گیرد.

1) چدن 2) فولاد 3) کادمیم 4) آلومینیوم

پاسخ: گزینه 1

تست: کدام تعریف در مورد چقرمگی صحیح است؟ چقرمگی به..... گفته می شود. (کنکور 79)

1- مقدار انرژی برای شکست

2- مقدار انرژی جذب شده جهت تغییر شکل دائمی در ماده

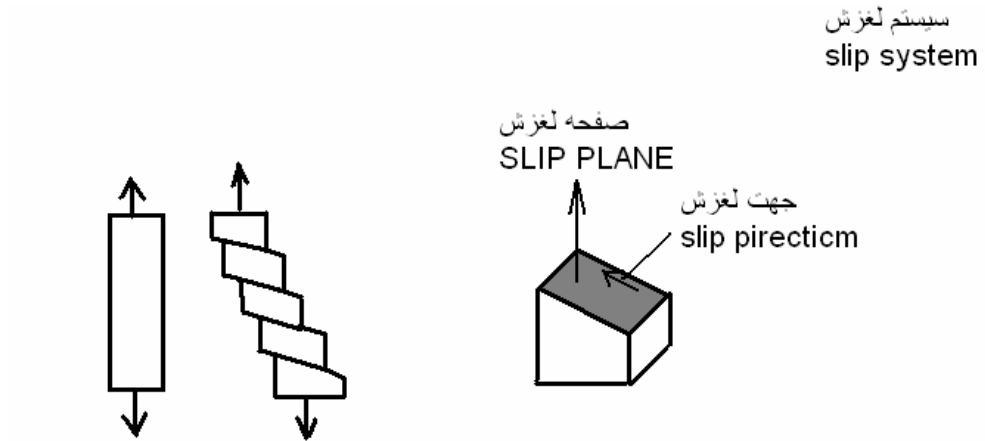
3- مقدار انرژی جذب شده در محدوده الاستیک

4- مقدار انرژی جذب شده توسط ماده تا مرحله شکست.

پاسخ: گزینه 4

بررسی مکانیزم لغزش در تک کریستالها:

تعریف: لغزش عبارت است از انتقال قطعاتی از صفحات و جهات معین کریستالوگرافی یک کریستال بر روی قطعات دیگری از آن.



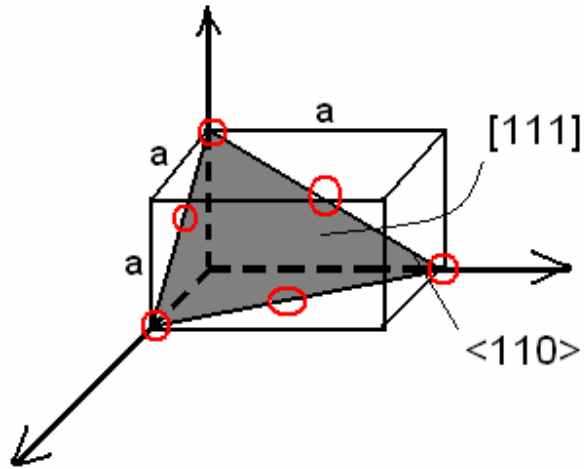
بررسی انجام شده روی شبکه های کریستالی مختلف نشان داده که:

اولاً: جهات لغزش همیشه جهاتی هستند که دارای حداکثر دانستیه اتمی هستند.

ثانیاً: صفحات لغزش اکثراً صفحاتی هستند که دارای حداکثر دانستیه اتمی هستند.

بررسی سیستم های لغزشی موجود در شبکه های کریستالی متداول فلزات (HCP, BCC, FCC)

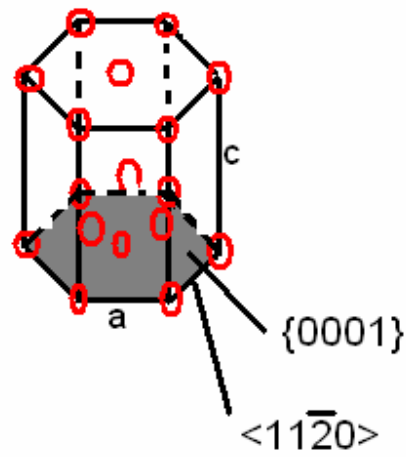
1- فلزاتی که دارای شبکه کریستالی FCC هستند.



$$\{111\}\langle 110 \rangle$$

$$4 \times 3 = 12$$

2- فلزاتی که دارای شبکه HCP هستند.



$$\{0001\}\langle 11\bar{2}0 \rangle$$

$$1 \times 3 = 3$$

سیستم لغزش ثانویه

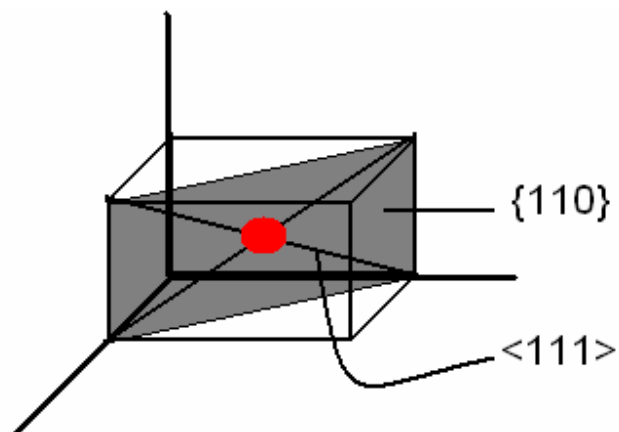
$$\{10\bar{1}0\}\langle 11\bar{2}0 \rangle$$

$$3 \times 1 = 3$$

$$\{10\bar{1}\}\langle 11\bar{2}0 \rangle$$

$$6 \times 1 = 6$$

فلزات با شبکه BCC



سیستم لغزشی اصلی

$$\{110\}\langle 111 \rangle$$

$$6 \times 2 = 12$$

سیستم لغزشی ثانویه

$$\{211\}\langle 111 \rangle$$

$$12 \times 1 = 12$$

$$\{321\}\langle 111 \rangle$$

$$24 \times 1 = 24$$

این تعداد زیاد سیستم های لغزشی می تواند آثار خطوط لغزش را به صورت منحنی هایی نشان دهد از جمله اگر تک کریستال Fe را در دمای حدود 50 درجه سانتیگراد تغییر فرم دهیم آثار خطوط لغزش بصورت زیر است. این آثار ناشی از تغییر مداوم سیستم لغزش است



تست) لغزش مکانیکی در یک قطعه فلزی به کدام عوامل بستگی دارد؟ (آزاد 76)

1) فقط صفحات لغزش 2) صفحات و جهت لغزش 3) فقط جهات لغزش 4) صفحات لغزش و نابجایی

پاسخ : گزینه 2

تست) علت شکست فلزات و آلیاژها در اثر نیروهای کم ولی تکراری کدام است؟ (آزاد 81)

1) خستگی مکانیکی 2) تغییر فاز داخلی 3) سخت شدن در اثر نیرو 4) گرم شدن در اثر

نیرو

پاسخ : گزینه 1

ε

تست) کدام یک از گزینه های زیر ارتباط بین کرنش حقیقی () و کرنش مهندسی (e) را بیان می کند؟

(کنکور 79)

$$\varepsilon = \frac{1+e}{l_0} \quad (4) \quad \varepsilon = \frac{e}{l_0} \quad (3) \quad \varepsilon = \ln(1+e) \quad (2) \quad \varepsilon = \ln e \quad (1)$$

پاسخ : گزینه 2

نکته: طرز قرار گرفتن یونها در بلور یونی نمک طعات (NaCl) از شکل گیری شبکه از تداخل دو شبکه

FCC از یونهای Na^+ و Cl^- است.

تست : در بلورهای یونی، لغزش در صفحات و جهاتی اتفاق می افتد که دو یون هم نام، مجاور یکدیگر قرار

نگیرد. با توجه به این نکته کدام گزینه معرف لغزش در بلور نمک طعام NaCl است؟ (تست کنکور 80)

1- جهات $\langle 010 \rangle$ صفحات $\{100\}$

2- جهات $\langle 111 \rangle$ صفحات $\{10\bar{1}\}$

3- جهات $\langle 10\bar{1} \rangle$ صفحات $\{111\}$

4- جهات $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ صفحات $\{110\}$

پاسخ : گزینه 3

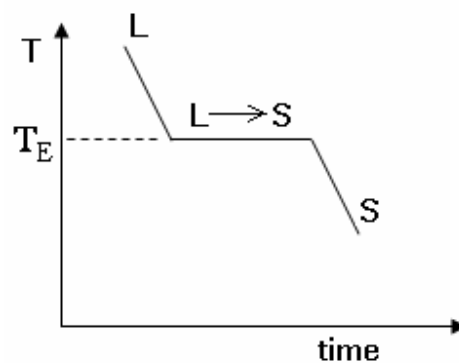
تحت انجماد:

از مشخصات ویژه فلزات مذاب این پدیده است که اصطلاحاً **under cooling** گفته می شود و تحت عنوان **Super Cooling** نیز بررسی می شود که عبارتست از کاهش دمای مذاب زیر دمای تعادلی انجماد بدون اینکه انجماد رخ دهد.

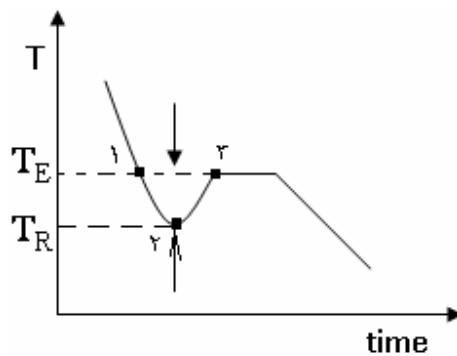


E.T: Equilibrium Temperature

دمایی معمولاً تئوری است که انجماد در دمای چند درجه پایین تر اتفاق می افتد. علت وجود تحت انجماد مشکلات ناشی از جوانه زنی است. در رابطه با فلزات خالص برای انجماد در زمانی که انجماد رخ می دهد دما ثابت می ماند و این به علت آزاد شدن گرمان نهان انجماد است. این نمودار بیشتر جنبه تئوریک دارد و در عمل نموداری به شکل 2 وجود دارد.



شکل ۱



شکل ۲

T_R : Real Temperature

$$\Delta T = T_E - T_R > 0$$

تحت انجماد حرارتی

از نقطه 1 → 2 افت دما وجود دارد و از نقطه 2 → 3 افزایش دما، افت دما به علت مشکلات ناشی از جوانه زنی و افزایش دما به علت آزاد شدن گرمای نهان انجماد خواهد بود.

انواع فازهای جامد:

از مخلوط کردن دو یا چند فلز در حالت بخار فلزات مختلف به طور کامل با هم مخلوط شده و اتم ها کاملاً در هم رفته و امکان تشخیص آنها از هم نیست و اصطلاحاً حل می شوند. در حالت مذاب فلزات مختلف ممکن است به طور کامل یا جزئی در یکدیگر حل شوند. در حالت جامد، انحلال کامل، انحلال جزئی و عدم انحلال وجود دارد. (بسته به مشخصات دو فلز و ارتباط آنها با یکدیگر)

-نحوه انحلال در حالت جامد

Interstitial solid solution (a) فاز محلول جامد بین نشینی
substitutional solid solution (b) فاز محلول جامد جانشینی

Compounds (c) فازهای ترکیبی

ممکن است عنصری به صورت عنصر آلیاژی یا عنصر ناخالصی باشد.

این دو از نظر توزیع در شبکه کریستالی میتوانند کاملاً یکسان باشند، مثلاً هر دو میتوانند بین نشین یا جانشین باشند.

با این تفاوت که عنصر ناخالصی سهواً به آلیاژ وارد شده و خواص را مناسب تر می کند اما عنصر آلیاژی عمداً به آلیاژ اضافه شده و موجبات بهبود خواص مختلف را فراهم می سازد.

Al + Fe

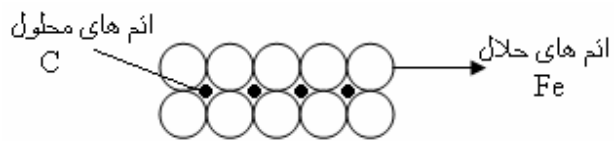
ناخالصی

{ Cu - Ni }
{ Cu - Zn } آلیاژی

(a) محلول جامد بین نشینی Interstitial solid solution

محلول جامد به این علت گفته می شود که عنصر آلیاژی (عنصر حل شونده) و حلال بر راحتی قابل تشخیص از یکدیگر توسط روشهای معمولی و ساده نیستند.

در محلول جامد بین نشینی عنصر حل شونده به صورت بین نشین در شبکه عنصر حلال وارد می شود، یعنی در فضاهای خالی بین اتم های حلال جا می گیرد.



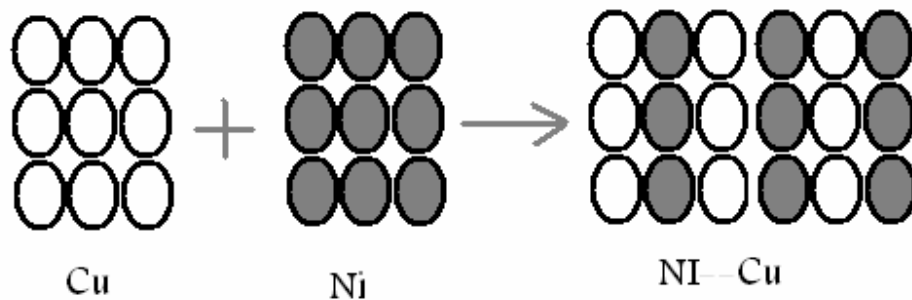
مثال : محلول جامد بین نشین C در Fe (فریت) (α) (ferriet)

شرط اینکه اتم حل شونده بتواند در فضاهای خالی قرار گیرد این است که شعاع آن باید با فضاهای خالی هم

خوانی داشته یا از آن کوچکتر باشد . اساساً عناصر N, B, H, C هستند که بین نشین می شوند ، بقیه عناصر محلول جامد جانشینی تشکیل می دهند.

(b) محلول جامد جانشینی Substitutional Solid Solution

عنصر حل شونده جای عنصر حلال قرار می گیرد .



شرط انحلال به صورت محلول جامد جانشینی و همچنین میزان انحلال پذیری بستگی دارد به:

1- فاکتور اندازه نسبی اتم ها : اگر اختلاف در اندازه نسبی اتم ها بیشتر از 15٪ باشد حلالیت بسیار محدود

است و در حد 1٪ یا کمتر خواهد بود

- اگر اختلاف در اندازه نسبی اتم ها کمتر از 15٪ و بیشتر از 8٪ باشد می توان گفت حلالیت نسبی داریم در حد 10٪

- اگر اختلاف در اندازه نسبی کمتر از 8٪ باشد حلالیت کمتر داریم . (یعنی از لحاظ این پارامتر هیچ مشکلی از نظر حلالیت وجود ندارد)

$$\frac{r_1 - r_2}{r_1} \times 100$$

اختلاف در اندازه نسبی اتم ها

2- شبکه کریستالی :

هر چه شبکه کریستالی دوفلز به هم نزدیکتر باشد ، امکان انحلال آنها بیشتر است ، اگر دو شبکه کریستالی یکسان بود از نظر این پارامتر مشکلی جهت انحلال وجود ندارد .

3- ظرفیت شیمیایی : دیده شده که فلزات معمولاً نسبت به الکترون های ظرفیت حساس ترند تا افزایش آنها .

مثال : ظرفیت A زیاد شده و ظرفیت B کم می شود. $A^{2+} B^{3+}$

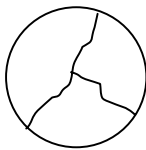
بنابراین، یک فلز با ظرفیت کمتر مقدار کمتری از فلز با ظرفیت بیشتر را در خود حل می کند.

به عنوان مثال اگر عنصر C^{4+} را در نظر بگیریم از نظر این پارامتر عنصر B در صد بیشتری از C را در خود حل می کند تا A.

4- میل ترکیب شیمیایی

هر چه میل ترکیب شیمیایی دو عنصر با هم بیشتر باشد حلالیت آنها در هم کمتر است. زیرا در این حالت میل ترکیب شیمیایی باعث انجام واکنش شیمیایی بین آنها می شود در صورتیکه در محلول جامد جانشینی واکنش وجود ندارد بلکه آلیاژ سازی انجام می شود.

به عنوان مثال مس و نیکل به هیچ وجه با یکدیگر واکنش شیمیایی نمی دهند.
 نکته: در هر حالت هنگام مشاهده فلز زیر میکروسکوپ چه محلول جامد جانشینی وجود داشته باشد و چه محلول جامد بین نشینی، هیچ تفاوتی وجود ندارد و همگی مثل یک فلز خالص هستند.

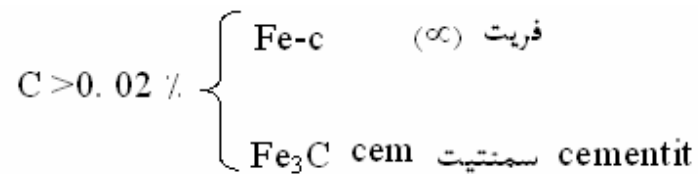


(C) فازهای ترکیبی Compounds

1- ترکیبات بین نشین Interstitial Compounds

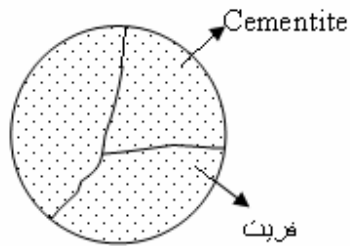
ترکیبات بین نشین هنگامی تشکیل می شوند که عنصر آلیاژی بین نشین وجود داشته باشد و درصد آن بیشتر از حد حلالیت باشد.

به عنوان مثال C در آهن در حد 0.02 % wt می شود. اگر مقدار کربن بیش از 0.02 % باشد مقدار 0.02 % آن به صورت محلول جامد است و بقیه به صورت ترکیب بین نشینی قرار می گیرد.

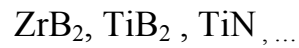


شبكة کریستالی سمنتیت مجموعه ای از هشت وجهی هایی است که همگی آنها در یک راس مشترک هستند.

نکته: در اینحالت در زیر میکروسکوپ دیگر فلز خالص دیده نمی شود.



نکته : نمونه های زیر ترکیبات بین نشین هستند:



2- ترکیبات ظرفیتی Valancy Compounds

اگر دو فلز وجود داشته باشد با خواص شیمیایی متفاوت، موقعی که با هم آلیاژ می شوند به شرطی که عنصر حل شونده مقدارش بیشتر از حد حلالیت باشد، یک ترکیب ظرفیتی داریم.

به عنوان مثال Mg_2Sn و یا Mg_2Pb

3- فازهای الکترونی Electron Compounds

در این حالت اگر مقدار عنصر حل شونده بیش از حد حلالیت باشد دو عنصر به نحوی با هم ترکیب می شوند که نسبت خاصی بین کل الکترونهای ظرفیت به کل اتم ها وجود داشته باشد. این نسبت معمولاً یکی از این اعداد است.

$\frac{21}{14}$	
-----------------	--

	کل الکترونهاى ظرفیت
	کل اتم ها

نمودارهای تعادلی (فازی) Equilibrium diagram , phase Diagrams

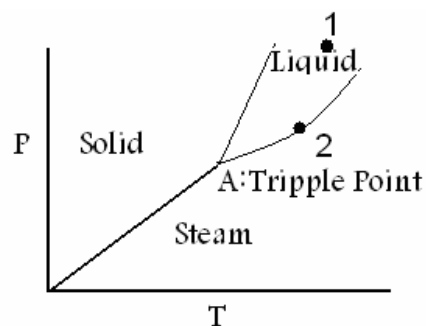
این نمودارها بسته به اجزاء موجود در آن به صورتهای زیر تقسیم می شود.

- 1- نمودار یک جزئی
- 2- نموداری دو جزئی
- 3- نمودارهای سه جزئی
- 4- نمودارهای چند جزئی.

1- نمودارهای یک جزئی:

در این حالت فشار و دما دو متغیری هستند که وجود دارد که اثر این دو را روی وضعیت تعادلی فلز مورد

بررسی قرار خواهیم داد.



با رسم دو خط فشار بخار مایع و فشار بخار جامد و بدست آوردن نقطه تلاقی (A) می توان خط بین S-L را بدست آورد. این خط تقریباً عمود است، شیب یا انحراف آن بستگی به شبکه کریستالی و اینکه آیا با ذوب شدن انبساط و یا انقباض داشته باشیم، دارد.

قانون فازها: Phases rule

این قانون به قانون گیبسی (Gibbs law) هم موسوم است، طبق این قانون

C: تعداد جزء component

$$P + F = C + 2$$

P: تعداد فازها phases

F: درجه آزادی freedom

درجه آزادی تعداد متغیرهایی نظیر فشار و دما و یا ترکیب شیمیایی است که می توانند مستقلاً تغییر کنند بدون آنکه فازها تغییر کنند.

به عنوان مثال در نقطه (1) روی نمودار چون یک جزء وجود دارد $C = 1$ و در یک فاز مشخص (liquid) قرار دارد پس $P = 1$ است بنابراین مقدار $F = 2$ بدست می آید.

یا در نقطه (2) دو فاز در کنار یکدیگر وجود دارد مایع و بخار بنابراین $P = 2$ و یک جزء داریم $C = 1$ در نتیجه $F = 1$ است، یعنی برای این حالت از دو متغیر فشار و دما یکی می تواند مستقلاً تغییر کند و دیگری

تابع آن است و در نقطه T_p مقدار $F = 0$ است که این نقطه منحصر به فرد است (برای هر فلز) و هیچ متغیری وجود ندارد.

2- نمودارهای دو جزئی:

(a) رسم نمودارها (b) استفاده از نمودارها

(a) برای رسم این نمودارها نمی توان دو پارامتر فشار و دما را هر دو با هم دخالت داد چرا که اثر ترکیب شیمیایی نیز در این حالت اهمیت دارد.

با توجه به اینکه اکثر فرایندها تحت فشار ثابت اتمسفر انجام می شوند. بنابراین نقش فشار چندان مهم نمی باشد لذا $P:cte$ فرض می شود و نمودار را بر حسب دما و ترکیب شیمیایی رسم می کنیم.

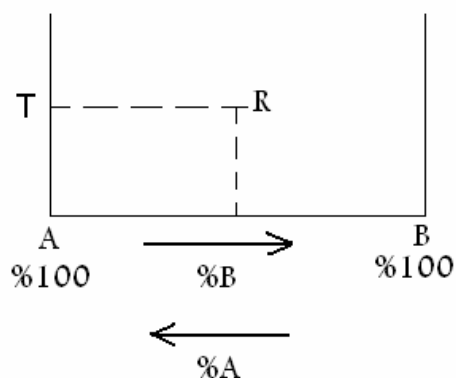
در این حالت رابطه گیبس به صورت زیر در می آید:

$$P + F = C + 1$$

نقش فشار حذف شده است.

رسم یک سیستم دو جزئی

به عنوان مثال برای نقطه R در دمای مشخص T، B 50% و A 50% داریم.



برای رسم یک سیستم دو جزئی مثلاً A-B به صورت زیر عمل می شود :

1 - آلیاژهای زیر انتخاب می شود

فلز خالص A

آلیاژهای

$90A/10B$

$80A/20B$

.

.

$20A/80B$

$10A/90B$

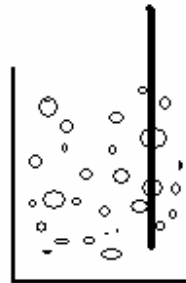
فلز خالص B

2- تمام فلزات و آلیاژهای انتخاب شده را ذوب می کنیم (داخل بوته های جداگانه)

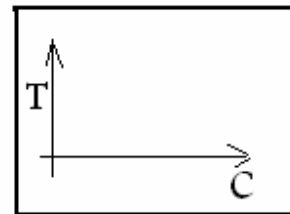
3- به طور تعادلی (بسیار آهسته) سرد و منجمد می کنیم و در حین سرد شدن تغییرات دما بر حسب زمان

را رسم می کنیم.

ترموکوپل

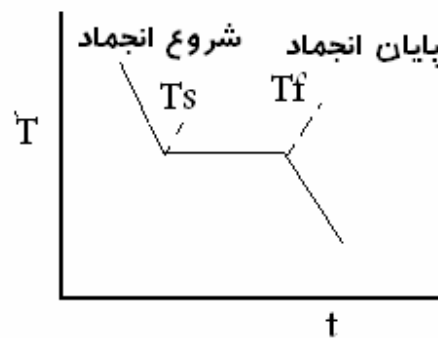


بوته

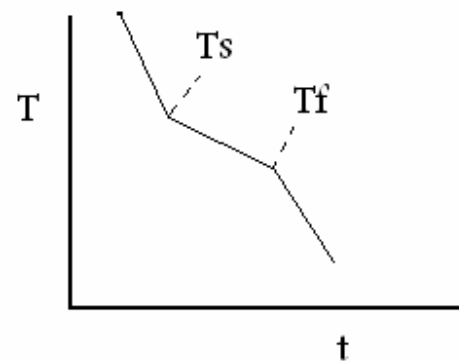


Recorder
or computer

4- نقاط تغییر شیب را مشخص می کنیم (Arrest Point)



فلزات خالص



آلیاژها

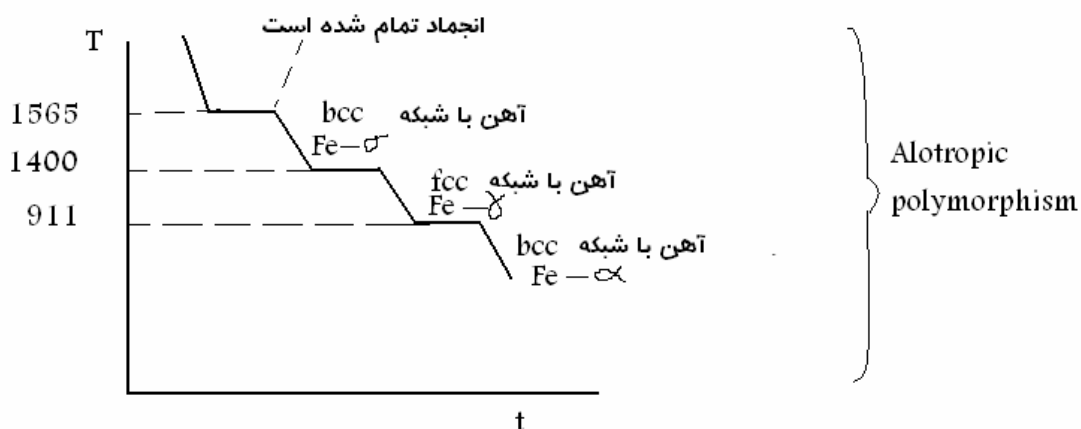
T_E در فلزات خالص یک دمای ثابت انجماد وجود دارد یعنی دمای شروع و پایان انجماد یکسان و همان است.

اما در آلیاژها چنین چیزی وجود ندارد. چون ناخالصی های عنصر آلیاژی داخل مذاب پس زده می شوند و باعث می شوند دمای مذاب پائین بیاید اما در فلزات خالص ترکیب شیمیایی همواره ثابت است.

فلزات خالص $T_s = T_f = T_E$

آلیاژها $T_s \neq T_f$

به عنوان مثال آهن خالص را در نظر بگیرید:



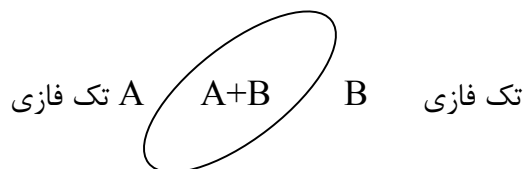
با تغییر شبکه کریستالی، گرمای نهان تغییر حالت در هر کدام از صورتها با هم فرق دارد بنابراین شبیهی متفاوتی وجود دارد.

5- انتقال اطلاعات گرفته شده به سیستم دما - ترکیب شیمیایی که این اطلاعات همان نقاط تغییر شیمیایی است.

6- نقاط مشابه بدست آمده را به یکدیگر وصل می کنیم (نقاط مشابه بدست آمده : نقاطی که تغییر فاز در آن رخ میدهد، نقاط شروع و پایان انجماد و نقاط تغییر شبکه کریستالی و ...)

نکته مهم: در نمودارهای تعادلی همواره دو ناحیه تکفازی توسط یک ناحیه دو فازی از یکدیگر جدا می شوند.

و به همین ترتیب دو ناحیه دو فازی نیز نمی توانند در کنار هم باشند و می بایست حتماً توسط یک ناحیه تک فازی از هم جدا شوند.



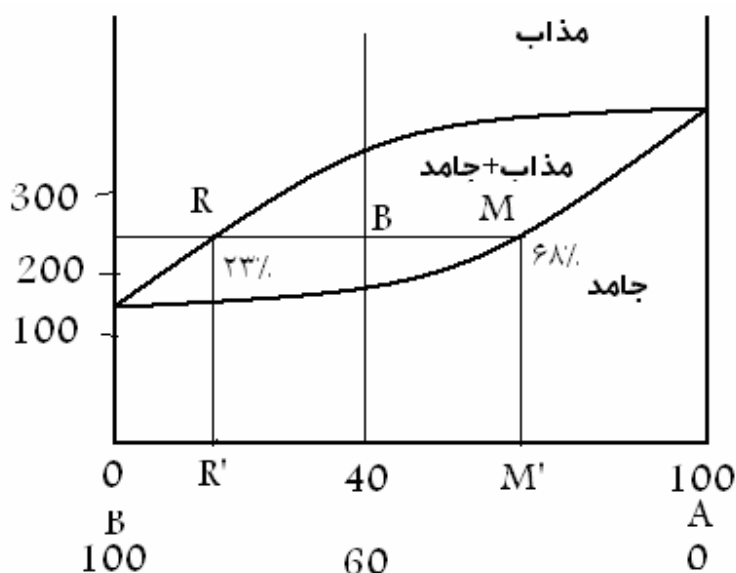
کاربرد نمودارهای تعادلی:

- 1- بررسی چگونگی ذوب و منجمد شدن آلیاژها
- 2- تعیین نوع فاز یا فازهای پایدار در دماهای مختلف در یک آلیاژ داده شده
- 3- تعیین ترکیب شیمیایی و درصد وزنی فازهای موجود در یک آلیاژ داده شده در دمای مشخص.
- 4- تعیین ریز ساختار یا ساختار میکروسکوپی آلیاژ مورد نظر در دمای داده شده.
- 5- تعیین نوع استحاله ها (تغییر حالت) {Face Transformation}

خط liquidus مکان هندسی نقاط شروع انجماد- خط مذاب

خط solidus مکان هندسی نقاط پایان انجماد- خط جامد

خط ذوب به عنوان مکان هندسی دماهایی که بالاتر از آنها تمام ترکیب ها مایع اند و خط انجماد به عنوان مکان هندسی دماهایی که پایین تر از آنها تمام ترکیبات جامدند، شناخته می شوند.



در نواحی تک فاز یک فاز وجود دارد بنابراین ترکیب شیمیایی و وزن آن فاز همان ترکیب شیمیایی و وزن اولیه است (m^{kg} جامد با ترکیب شیمیایی مشخص یا m^{kg} مذاب با ترکیب شیمیایی مشخص)

در نواحی دو فاز (مذاب و جامد برای محاسبات از Iso Term (Tie line) خط دمای ثابت یا خط استفاده می شود. که این خط خطی است که از دمای مورد نظر به صورت افقی رسم می شود.

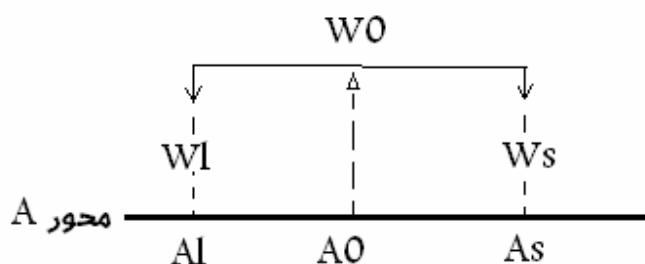
ترکیب شیمیایی آلیاژ در دمای مشخص شده نقطه B می باشد.

به عنوان مثال :

$$250^{\circ}\text{C} \left\{ \begin{array}{l} \text{S} \Rightarrow [68\%A, 32\%B] \\ \text{L} \Rightarrow [23\%A, 77\%B] \end{array} \right\}$$

برای محاسبه وزنهای از قانون اهرم استفاده می کنیم.

این قانون فقط در نواحی دو جزئی یا دو فازی مورد استفاده قرار می گیرد. به اینصورت که خط Iso term را در نظر گرفته و تکیه گاه را نقطه آلیاژ در نظر میگیریم در نقاط تلاقی با خطوط liquidus , solidus نیروهای WS و Wl را وارد می کنیم.



وزن فلز A در جامد + وزن فلز A در مذاب = وزن فلز A در آلیاژ : در هر لحظه

$$W_0 \cdot \%A_0 = W_L \cdot \%A_l + W_S \cdot \%A_s$$

$$W_0 = W_S + W_L$$

$$W_S = W_0 \frac{|\%A_0 - \%A_l|}{|\%A_s - \%A_l|}$$

$$W_L = W_0 \frac{|\%A_s - \%A_0|}{|\%A_s - \%A_l|}$$

مخرج کسرها : طول اهرم

صورت : بازوی اهرم در سمت مورد نظر

اگر مقادیر Wl , ws را در 100 ضرب کنیم مقادیر آنها بر حسب % بدست می آید.

از جمله کاربردهای نمودارهای تعادلی تعیین ساختار میکروسکوپی یک آلیاژ در هر دما و تعیین نوع فاز، ترکیب شیمیایی هر فاز و درصد وزنی (وزن) هر فاز است.

که این دو عامل بستگی به نحوه انجماد دارد.

انجماد تعادلی: در انجماد تعادلی سرد شدن آهسته وجود دارد به نحوی که نفوذ اتم ها و یکسان شدن ترکیب شیمیایی نقاط مختلف وجود داشته باشد (در تمام مذاب) یعنی در هر لحظه مذاب کاملاً یکنواخت است.

انجماد غیر تعادلی: در انجماد غیر تعادلی سرد شدن به نحوی است (سریع) که امکان نفوذ اتم ها و یکسان شدن ترکیب شیمیایی جامد تشکیل شده نیست.

معمولاً انجماد ها در حالت 100٪ تعادلی نبوده و پدیده **Coring** یا تغییر ترکیب شیمیایی حتماً وجود دارد.

(یعنی از مغز به طرف مرز تفاوت ترکیب شیمیایی وجود دارد)

در نمودارهای دو فازی:

بستگی به نوع اتم های عناصر حلال و حل شونده دو عنصر می توانند 1- به طور کامل 2- به طور جزئی در یکدیگر حل شوند و یا اینکه دو عنصر به هیچ وجه در یکدیگر حل نشوند و یا اینکه با هم ترکیبات بین فلزی بوجود آورند.

وقتی انحلال جزئی یا عدم انحلال وجود داشته باشد تغییر حالت های مختلف وجود خواهد داشت (تغییر فاز) مثلاً یوتکتیک، پری تکتیک ...

نمودارهای دو تایی:

ساده ترین شکل این نمودارها مربوط به وقتی است که انحلال کامل دو عنصر وجود داشته باشد. حد حلالیت تابع این پارامترهاست.

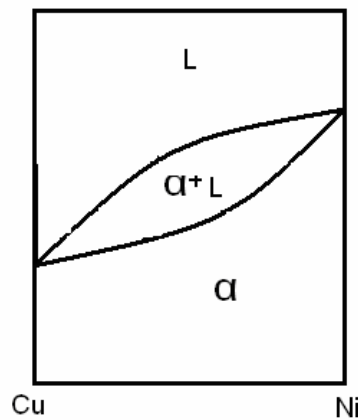
a- شبکه کریستالی b- اختلاف در شعاع اتمی c- ظرفیت شیمیایی

d- میل ترکیب شیمیایی

به عنوان مثال در خصوص دو عنصر نیکل و مس:

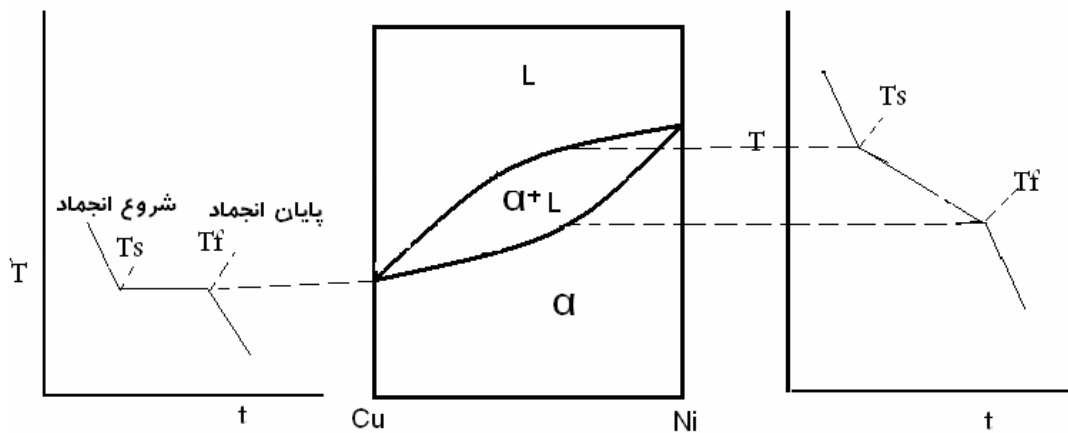
هر دو شبکه کریستالی FCC، شعاعها به ترتیب 1.28 و 1.24 و میل ترکیب شیمیایی 1.8 و 1.9 است. از این اطلاعات می توان اینگونه نتیجه گیری کرد که مس و نیکل می توانند در یکدیگر کاملاً حل شوند.

انجماد تعادلی



نحوه ترسیم دیاگرام های تعادلی در حالت انحلال کامل:

نکته: در انجماد فلزات خالص و آلیاژهای بدون دامنه انجماد، انجماد در دمای ثابت انجام می شود.

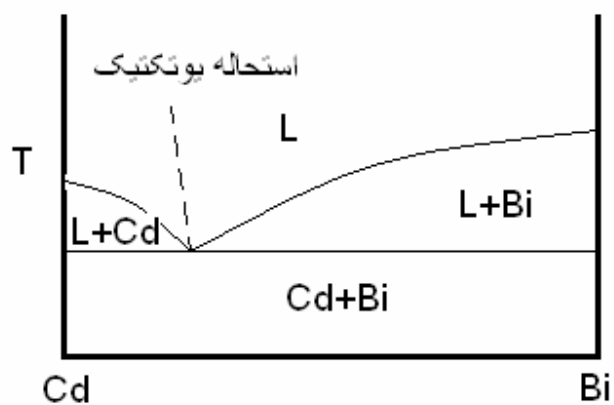


هنگام سرد شدن آلیاژ از فوق ذوب (دمای بالاتر از دمای ذوب) تا درجه حرارت محیط با رسیدن به منطقه

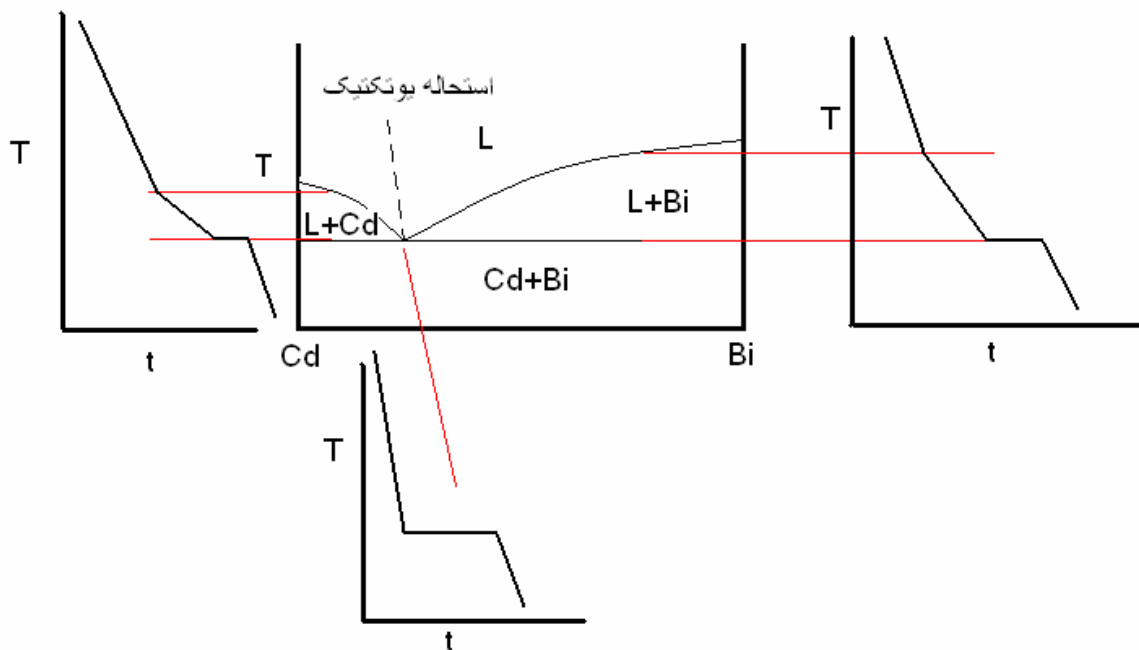
دو فازی یا خمیری شیب سرد کردن کاهش می یابد.

(II) حالت بعدی نمودارهای دو تایی مربوط به وقتی است که بدون انحلال در یکدیگر باشد.

اینگونه نمودارها به صورت زیر می باشد.

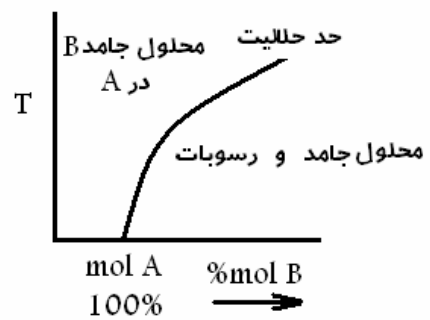


جهت ترسیم این گونه نمودارها نیز از دیاگرامهای سرد شدن به شکل زیر استفاده می شود:

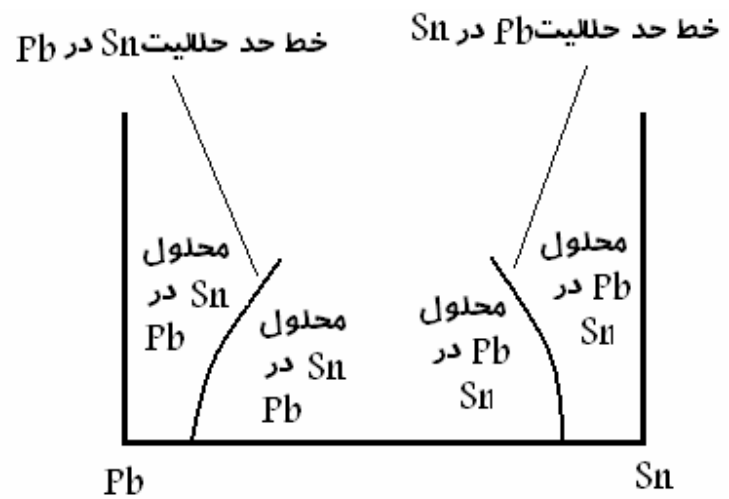
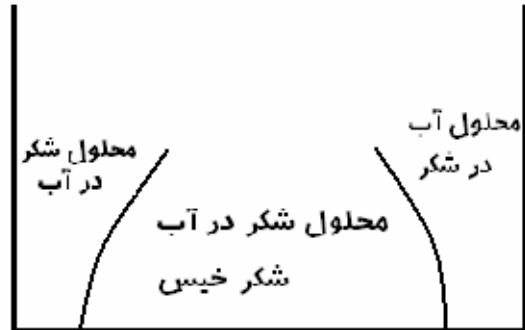


حلالیت نسبی دو عنصر در حالت جامد:

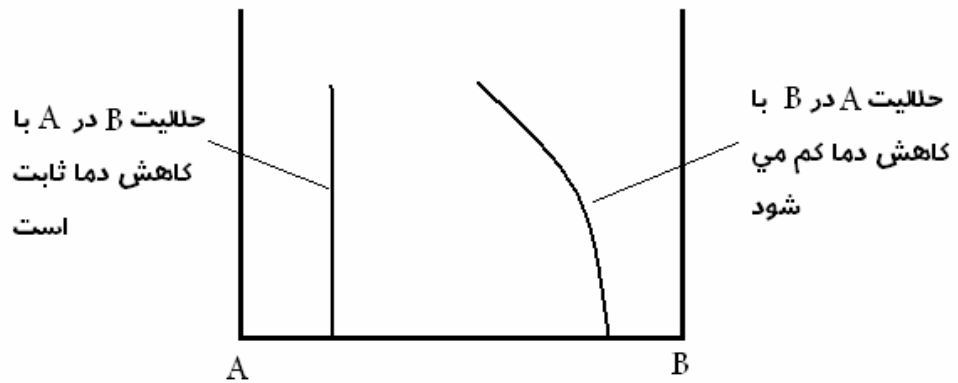
مثل انحلال نمک در آب یا شکر در آب، چنین حالتی وجود دارد



با کاهش دما به میزان رسوب افزایش می یابد زیرا حد حلالیت کم میشود.

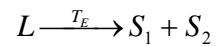


خط حد حلالت: تحت شرایطی ممکن است خط حد حلالت یک خط راست باشد یعنی با کاهش دما حلالت ثابت باشد.



استحاله یوتکتیک eutectic

عبارتست از تبدیل یک مذاب در دمای ثابت به دو جامد با ترکیب شیمیایی متفاوت



این استحاله در آلیاژهایی که عناصر تشکیل دهنده آن به طور نسبی در هم حل شوند و یا کاملاً در هم نامحلول باشند دیده می شود.

در نمودارهای دوتایی چون تغییر فشار در نظر گرفته نمیشود لذا فرمول درجه آزادی به صورت

$$P + F = C + 1$$

خواهد شد.

در نقطه یوتکتیک:

$$3 + F = 2 + 1 \rightarrow F = 0$$

یعنی در هر نمودار یوتکتیکی نقطه یوتکتیک منحصر بفرد است و جای مشخصی دارد. (می توان چند نقطه

یوتکتیک داشت ولی با مکانهای مشخص)

نکته:

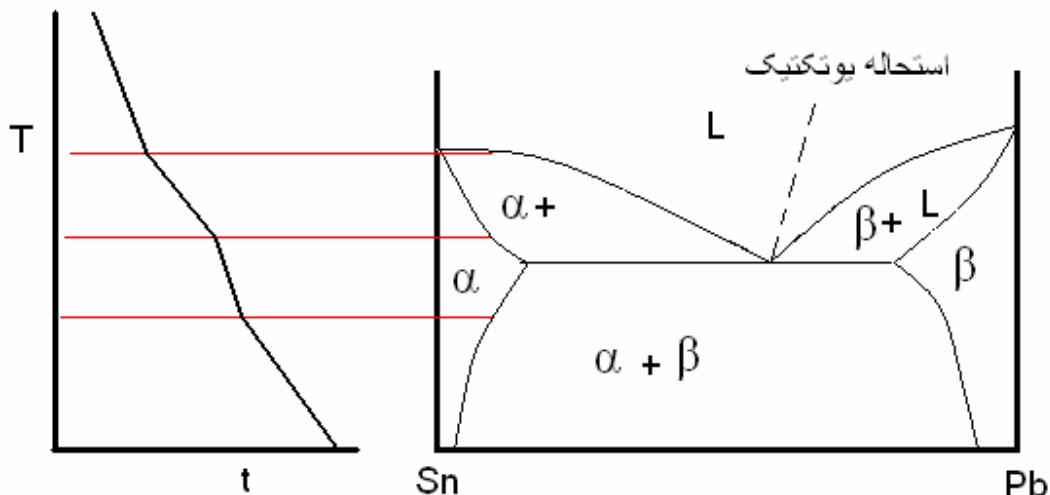
برای تعیین فازها: هر جامدی یک فاز محسوب می شود.

هر مایعی نیز یک فاز محسوب می شود.

ولی تمام گازها کلاً یک فاز

(III) حالت دیگر نمودارهای دوتایی حالت انحلال جزئی در حالت جامد می باشد.

نکته: در منطقه تکفازی شیب نمودار بیشتر و در منطقه دوفازی شیب خط کمتر می باشد.



نکته: آلیاژهای یوتکتیک مشابه فلز خالص منجمد می شود.

نکته: آلیاژ یوتکتیک در نمودار تعادلی مربوطه پائین ترین دمای انجماد را دارد یعنی دمای انجمادش از هر

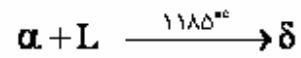
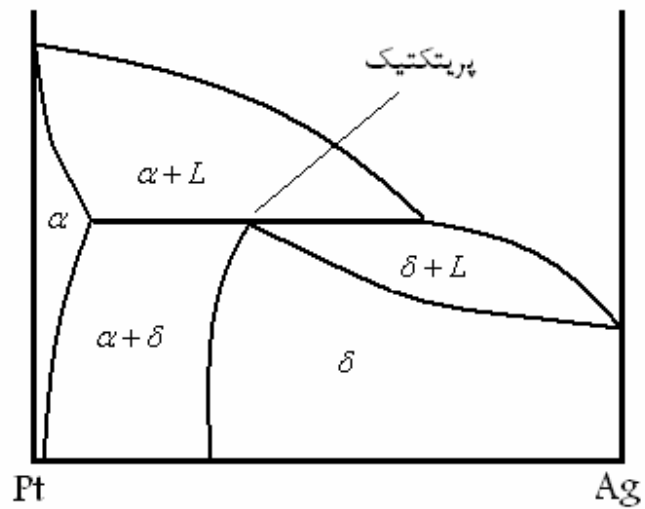
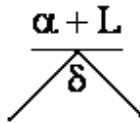
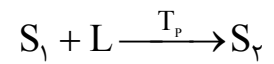
دو فلز تشکیل دهنده اش کمتر است.

نکته: آلیاژهایی که در سمت چپ استحاله یوتکتیک قرار دارند به آلیاژهای هیپو یوتکتیک موسوم اند و

آلیاژهای سمت راست آن هایپر یوتکتیک نام دارند.

نمودارهای دوتایی با استحاله پریتکتیک

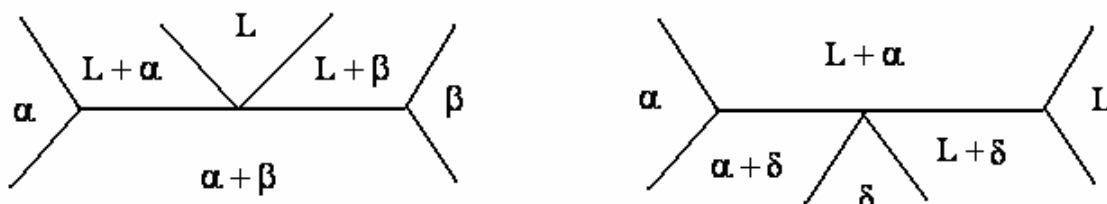
در استحاله پریتکتیک یک جامد همراه یک مایع به جامد دوم تبدیل می شود.



نکته: آلیاژهای سمت چپ آلیاژ پری تکتیک را هیپو پری تکتیک و آلیاژهای سمت راست را هایپر پری

تکتیک گوئیم.

نکته: در استحالتهای یوتکتیک و پری تکتیک از ابتدا تا انتهای خط افقی می توان ترکیب یوتکتیک و پری تکتیک داشت.



فازهای میانی:

بطور کلی قرارگیری خاصیت الکترو پازیتیو قوی در کنار خاصیت الکترو پازیتیو ضعیف امکان ایجاد پیوند غیر فلزی را بوجود می آورد.

از مشخصات این پیوند:

نقطه ذوب بالا، سختی بالا، شکنندگی بالا، مقاومت به سایش زیادتر، رنگ خاص متفاوت از اجزای تشکیل دهنده ترکیب.

جامدات با این پیوند دو گروهند:

1- در ترکیب شیمیایی خاص و ثابت با استوکیومتری ثابت

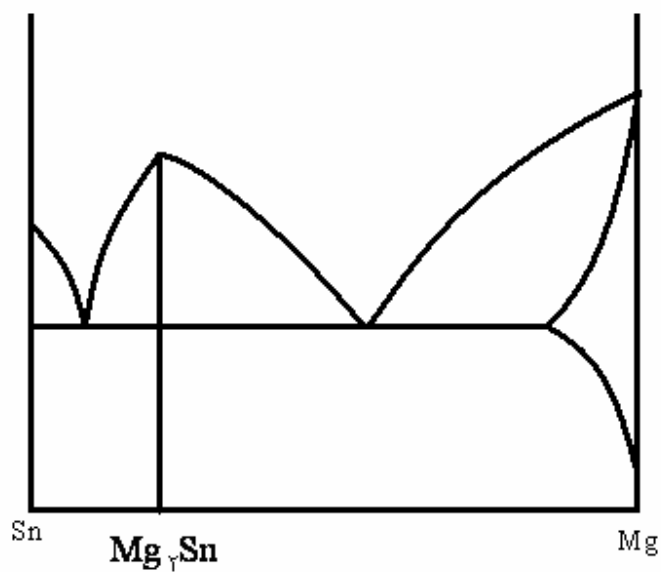
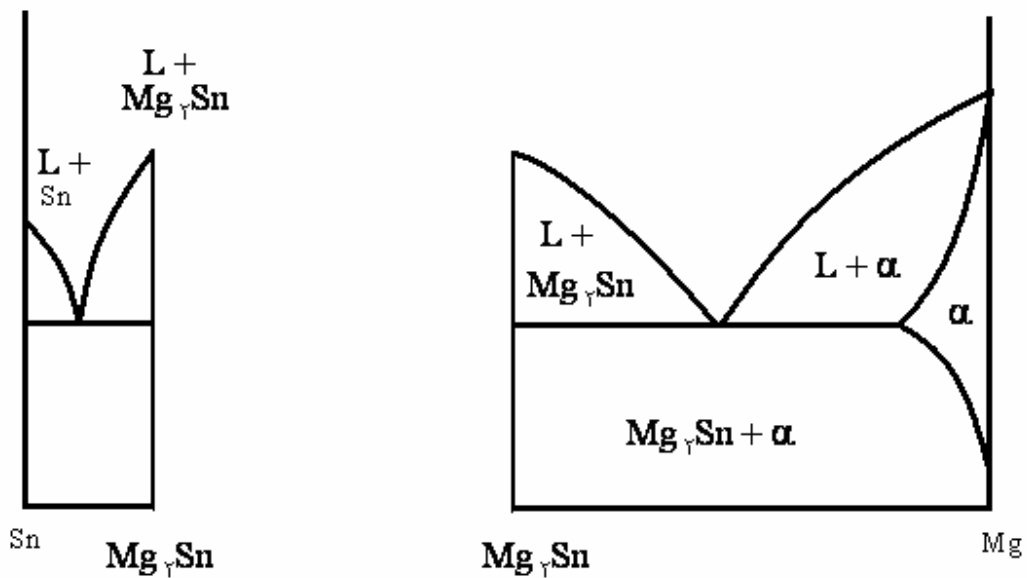
2- در یک گستره محدودی از ترکیب شیمیایی

بنابراین نمودار تعادلی به دو قسمت تقسیم می شود.



این ترکیبات به شکلهای هندسی مشخصی در ساختار ظاهر می شوند. از جمله این ترکیبات مهم

می باشد که نمودار تعادلی Sn-Mg را به دو قسمت تقسیم می کند.

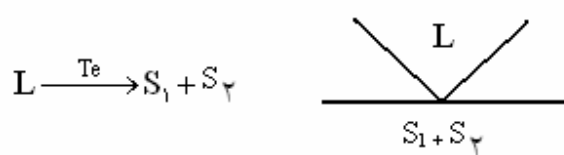


نکته: از طریق رنگ خاص این ترکیبات و شکل هندسی مشخص آنها در زیر میکروسکوپ می توان ترکیبات بین فلزی را تشخیص داد.

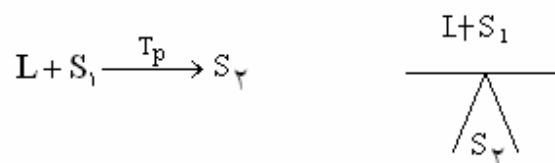
نکته: Sn در Mg حل می شود ولی Mg در Sn حل نمی شود.

سایر انواع استحاله ها:

تاکنون استحاله های یوتکتیک

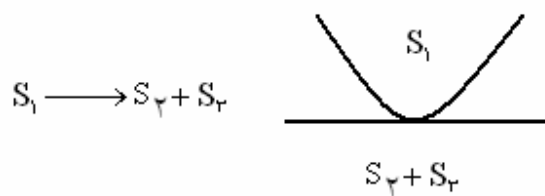


و پریتکتیک



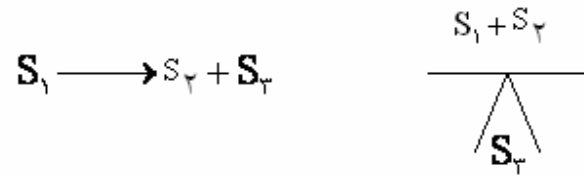
مورد بررسی قرار گرفتند، اما سایر انواع استحاله ها عبارتند از:

استحاله یوتکتوئید



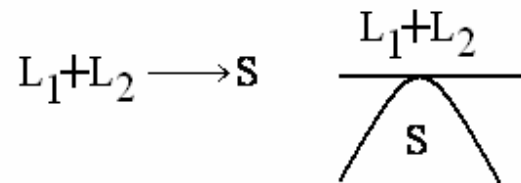
استحاله پری تکتوئید:

در این استحالته دو جامد به یک جامد تبدیل می شود.

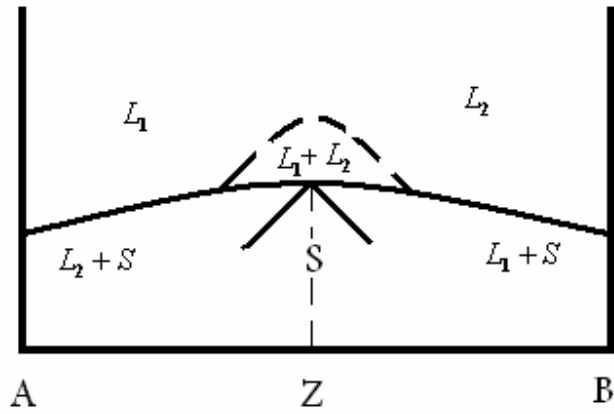


استحاله سین تکتیک:

این استحالته کمتر در سیستم های فلزی دیده می شود و شامل تبدیل دو مذاب به یک جامد است.

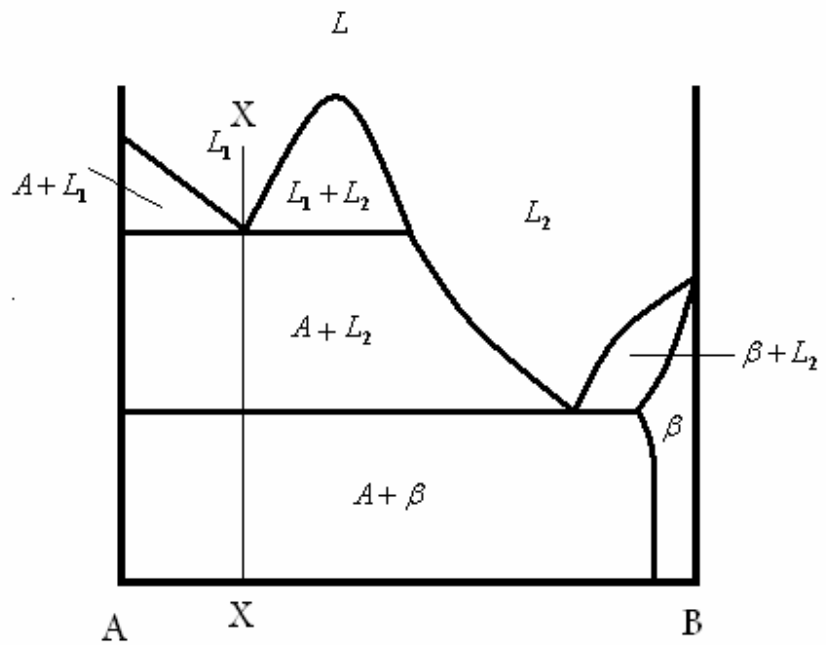
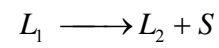


در اینحالات استحالته ای وجود دارد که از نظر حلالیت در حالت مذاب دارای محدودیت است. به محدوده نقطه چین که رسیدیم مذاب به دو مذاب L_1 و L_2 تفکیک می شود. یعنی با کاهش فوق گداز حد حلالیت در دو مذاب متفاوت بوده و باعث می شود یک مذاب غنی از A و دیگری غنی از B به وجود آید که از هم جدا می شوند.



استحاله منو تکتیک:

در سیستم های فلزی زیاد دیده می شود و شامل تبدیل یک مذاب به یک جامد و یک مذاب دیگر است.



تحول آلوتروپیک:

تغییرات شبکه کریستالی در اثر تغییرات دما را تحول آلوتروپیک گویند.

نکته: تحولات یوتکتوئید و پریتکتوئید تحولاتی آلوتروپیک می باشند.

چند تست:

تست) در یک سیستم آلیاژ دوتایی به هنگام سرد و گرم کردن یک فاز جامد و یک فاز مایع در یکدیگر

ادغام شده و تبدیل به یک فاز جامد دیگر می شوند. نام این واکنش چیست؟ (کنکور 78)

(1) پریتکتیک

(2) پریتکتوئید

(3) مونوتکتیک

(4) یوتکتیک

پاسخ: گزینه 1

تست) کدام واکنش تغییر ناپذیر، منجر به تشکیل یک فاز جامد و یک فاز مایع می شود؟ (کنکور 78)

(1) پرتکتیک

(2) واکنشی در نقطه انطباقی ماکزیمم

(3) یوتکتیک

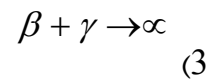
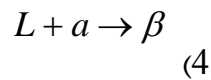
(4) مونوتکتیک

پاسخ: گزینه 4

تست) تحول پریتکتیکی کدام است؟ (آزاد 80)

(1) $L \rightarrow \alpha + \beta$

(2) $\alpha \rightarrow \beta + \gamma$



پاسخ: گزینه 4

تست) انحلال عنصری در عنصر دیگر در چه شرایط نفوذی می باشد؟ انحلال (آزاد 81)

(2) در حالت جامد

(1) در حالت مذاب

(4) مس در نیکل جامد

(3) سرب در آهن مذاب

پاسخ : گزینه 2

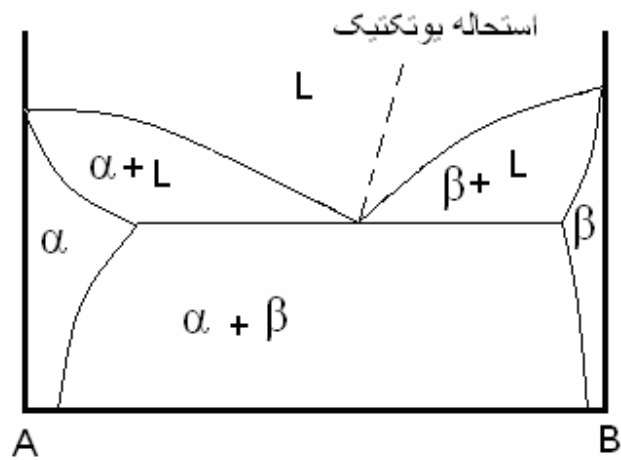
نفوذ :

یکی از فعل و انفعالات مهمی که در انجماد و تبدیل و دگرگونی فازها در عملیات حرارتی در مواد جامد و در بعضی از فرآیندهای تولید انجام می گیرد و از اهمیت خاصی برخوردار است، پدیده نفوذ است. عموماً حرکت و انتقال مواد در گازها، مایعات و جامدات بی شکل و کریستالی که در نتیجه جابجایی گام به گام اتم ها تا رسیدن به حالت همگن انجام می گیرد را نفوذ یا دیفیوژن یا دیفوزیون می نامند که از بین آنها نفوذ در حالت جامد مورد توجه و بررسی ماست. نیروی محرکه یا علت عمده این حرکت اتم ها (نفوذ) ، وجود اختلاف غلظت اتمی بین قسمتهایی از کریستال که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته اند است.

تست آزاد 81) با توجه به دیاگرام فاز ، کدام گزینه صحیح است؟ دیاگرام نمایانگر ... است .

(1) انحلال محدود دو عنصر A, B, (2) انحلال B در A کمتر از انحلال A در B

(3) انحلال کامل دو عنصر A, B, (4) انحلال کامل A در B و انحلال محدود B در A



پاسخ : گزینه 1

تست آزاد 80) دمای ذوب آلیاژ را با کدام مورد می توان کاهش داد؟

- 1) تشکیل ترکیب یوتکتوئید
 2) افزایش منطقه خمیری در تغییرات غلظت آلیاژ
 3) تشکیل ترکیب یوتکتیک
 4) افزایش فاصله انجماد در تغییر غلظت آلیاژ

پاسخ : گزینه 3

تست کنکور 79) در نقطه اوتکتیک و در فشار ثابت، در یک سیستم دوتایی درجه آزادی سیستم چقدر

است؟

- 1) سه
 2) دو
 3) یک
 4) صفر

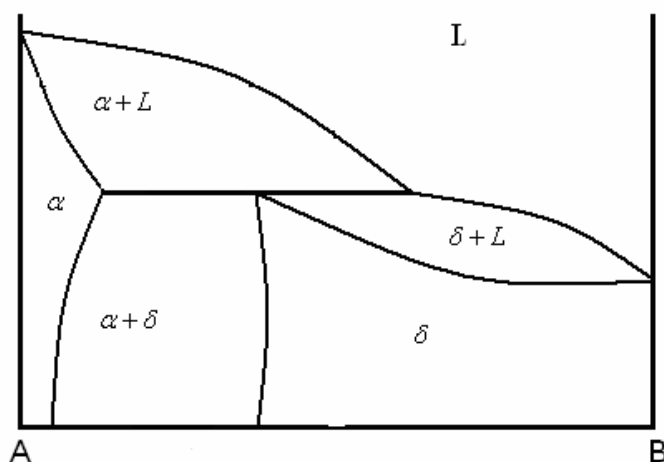
$$P+F=C+1 \rightarrow 3+F=2+1 \rightarrow F=0$$

در سیستم دوتایی $C = 2$ در نقطه یوتکتیک سه فاز در حال تعادلند $P = 3$

پاسخ : گزینه 4

تست کنکور 82) دیاگرام داده شده شامل چه نوع تحولی است؟

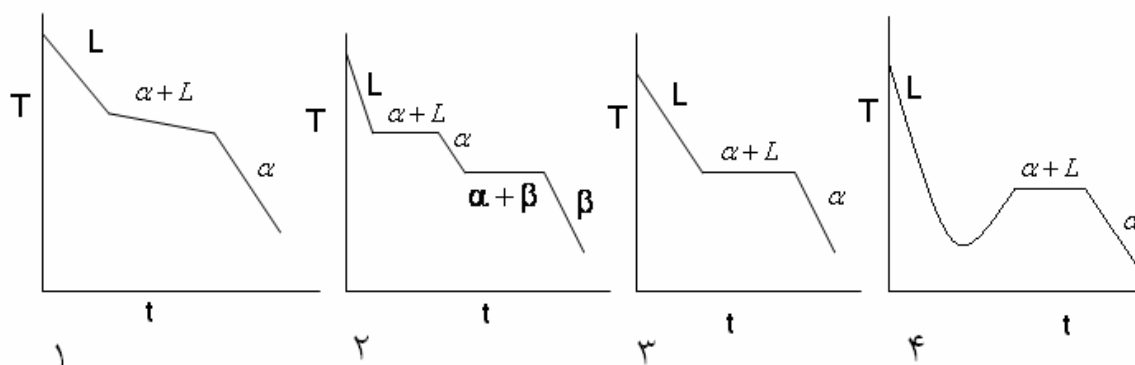
- (1) پریتکتیک (2) یوتکتوئید (3) یوتکتیک (4) آلوتروپیک



پاسخ : گزینه 1

تست آزاد 82)

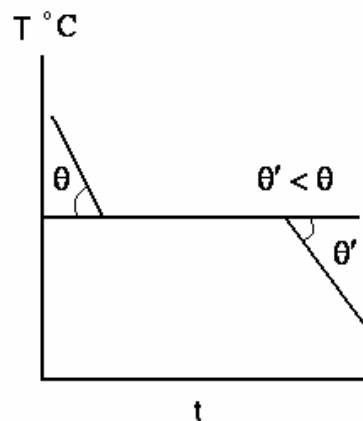
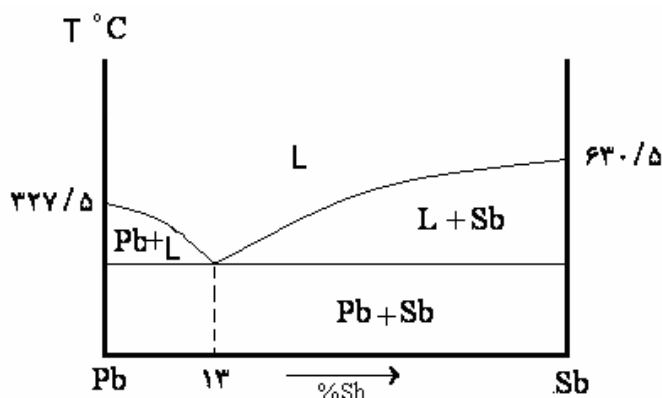
کدام دیاگرام سرد کردن مربوط به آلیاژ با دامنه انجماد می باشد؟



پاسخ : گزینه 1

تست آزاد (83)

با توجه به دیاگرام سرب - آنتیموان ، دیاگرام سرد کردن مقابل مربوط به کدام مورد از فوق ذوب تا حرارت محیط می باشد.

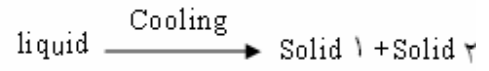


- 1- هیپویوتکتیکی 2- سرب خالص 3- آنتیموان 4- آلیاژ یوتکتیکی

پاسخ : گزینه 4

تست کنکور (80)

با در نظر گرفتن دیاگرام فازی فلزات و آلیاژها، واکنشی که در آن یک مایع با سرد کردن به دو فاز جامد متمایز تبدیل شود، واکنش ... گفته می شود.

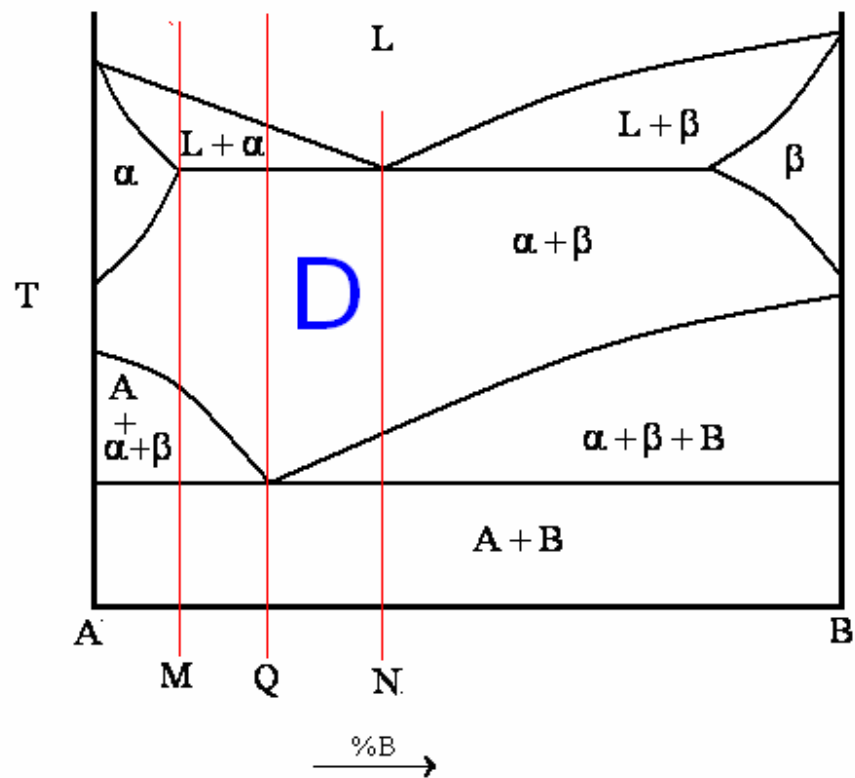


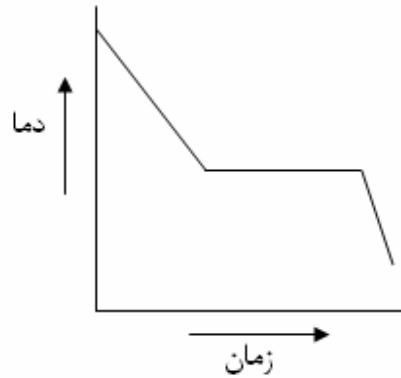
- 1- یوتکتیک 2- یوتکتوئید 3- پریتکتیک 4- تشکیل پرلیت

پاسخ : گزینه 1

تست آزاد 83

با توجه به دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی دیگرام سرد کردن ذیل مربوط به آلیاژ با کدام غلظت از منطقه D تا حرارت محیط است؟





Q(4

P (3

N(2

M (1

پاسخ : گزینه 1

تست کنکور 82

اگر دو فاز جامد در اثر سرد شدن با هم ترکیب شده و یک فاز جامد دیگر بوجود آورند، چنین واکنشی به واکنش ... موسوم است.

4- پریکتوئیدی

3- اوتکتوئیدی

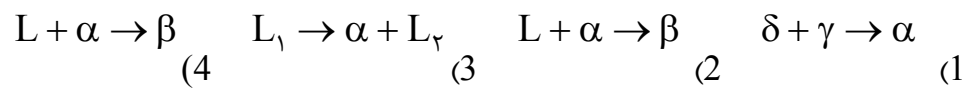
2- پریکتیکی

1- اوتکتیکی

پاسخ : گزینه 4

تست آزاد 83

کدام تحول پریکتوئیدی است

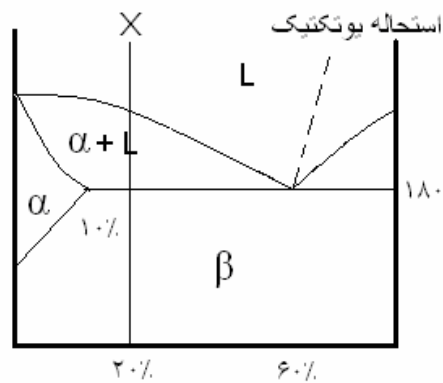


پاسخ : گزینه 1

تست کنکور 82

در شکل مقابل و در ترکیب X ، درصد فاز مایع در درجه حرارت 180°C برابر است با :

- (1) 10 (2) 20 (3) 50 (4) 60



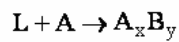
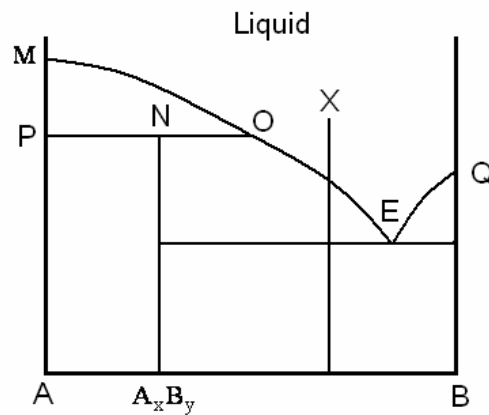
پاسخ : گزینه 2

$$\frac{20 - 10}{60 - 10} \times 100 = 20\%$$

تست کنکور 83

در دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی عناصر A, B, در نقطه N و در حالت سرد کردن احتمال کدام تحول

وجود دارد؟



4- منوتکتیکی

3- پریتکتیکی

2- یوتکتوئیدی

1- یوتکتیکی

پاسخ : گزینه 3

دیاگرام تعادلی آهن- کربن :

انواع فازها در دیاگرام تعادلی آهن - کربن:

α

فریت یا آهن :

ساختار آهن خالص در دمای اتاق، آهن α یا فریت نامیده می شود، فریت کاملاً نرم و انعطاف پذیر بوده

دارای ساختار مکعبی مرکز دار است. فضاهای بین اتمی آن کوچک می باشد و حتی نمی توانند اتم کروی و

کوچک کربن را به راحتی در خود جای دهند. در نتیجه حلالیت کربن در فریت بسیار کم است.

اتم کربن کوچکتر از آن است که محلول جامد جانشینی تشکیل دهد و بزرگتر از آن است که محلول جامد

بین نشینی به وجود آورد.

نکته : فریت دارای ساختار BCC می باشد.

آستنیت یا آهن γ :

ساختار مکعبی با وجوه مرکز دار آهن آستنیت یا آهن γ نام دارد و در مقایسه با فریت ، به طور کلی در دماهایی که استنیت پایدار است فلز نرم و انعطاف پذیری است. فضاهای بین اتمی ساختار مکعبی با وجوه مرکز دار از فضاهای بین اتمی فریت بزرگتر است. حتی در FCC نیز بزرگی حفره ها به قدری است که اتم های کربن به زحمت در مکانهای بین نشینی جا می گیرند. تجمع اتم ها در مکانهای بین نشینی در ساختار آهن کرنش بوجود می آورد. در نتیجه تمام حفره ها نمی توانند یک زمان پر شوند. آستنیت دارای ساختار FCC می باشد.

آهن δ :

بالاتر از 1394°C استنیت پایدار نیست بنابراین ساختار بلوری مجدداً به BCC تبدیل شده و آهن δ نام دارد.

آهن δ (دلتا) همانند آهن آلفا است و فقط گستره دمایی آن فرق دارد. بنابراین فریت δ نام دارد. حلالیت کربن در فریت دلتا کم است ولی به دلیل بالاتر بودن دما به مراتب از حلالیت آن در فریت آلفا زیادتر است.

آهن- کاربید:

در آلیاژهای آهن کربن اگر کربن از حد حلالیت بیشتر باشد فاز دیگری تشکیل می شود که معمولاً کاربید



آهن یا سمانتیت است. آهن کاربید دارای ترکیب شیمیایی است. این بدان معنی نیست که آهن



کاربید را ، مولکولهای تشکیل می دهند، بلکه واقعیت این است که اتم های آهن و کربن در ساختار

بلوری کاربید با نسبت 3 به 1 وجود دارند.

سمانتیت در مقایسه با آستنیت و فریت بسیار سخت است و وجود آهن کاربید با فریت استحکام فولاد را تا

حد زیادی افزایش می دهد. با وجود این چون آهن کاربید انعطاف پذیر نیست، نمی تواند تمرکز تنش را

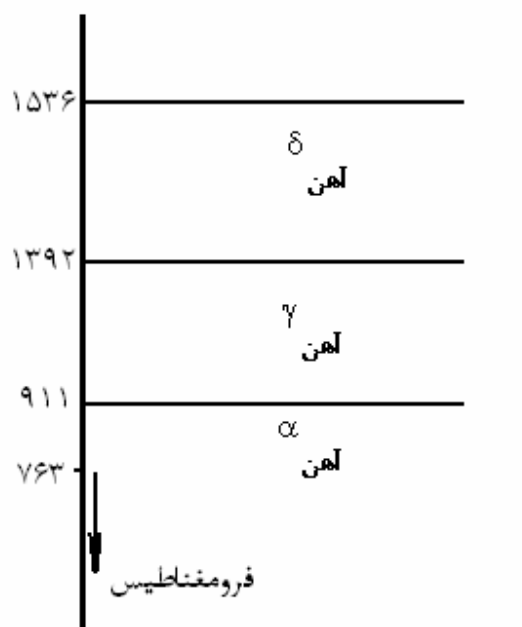
تحمل کند در نتیجه در مقایسه با مواد سرامیکی غیرانعطاف پذیر، به تنهایی نسبتاً ضعیف است.

نکته: آلیاژهای Fe- C، حاوی کمتر از 2٪ C فولاد بوده و آلیاژهای Fe- C حاوی بیشتر از 2٪ کربن، چدن

می باشند این تقسیم بندی بر اساس نمودار تعادلی آهن- کربن (آهن سمنتیت) بدون عناصر دیگر می باشد.

نکته: در فولادها استحاله یوتکتیک وجود ندارد بلکه در چدن آنها این استحاله انجام می پذیرد.

اجزاء فازهای تشکیل دهنده نمودار:



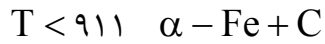
به دمای 763°C دمای تغییر خاصیت مغناطیسی آهن گویند، چراکه زیر این دما خاصیت فرو مغناطیسی وجود دارد.

C(کربن) یک عنصر بین نشین است پس مقدار حلالیت آن در آهن بستگی به حجم ، توزیع و اندازه فضاهای خالی بین نشین در شبکه های بلوری مختلف آهن دارد.

$1329 < T < 1536$ $\delta - \text{Fe} + \text{C}$ δ
فاز فریت : حداکثر حلالیت کربن 0.1%

$911 < T < 1392$ $\gamma - \text{Fe} + \text{C}$ γ
فاز آستنیت : حداکثر حلالیت کربن 2%

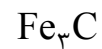
نکته: اکثر عملیات حرارتی در منطقه پایداری آستنیت انجام می شود.



α

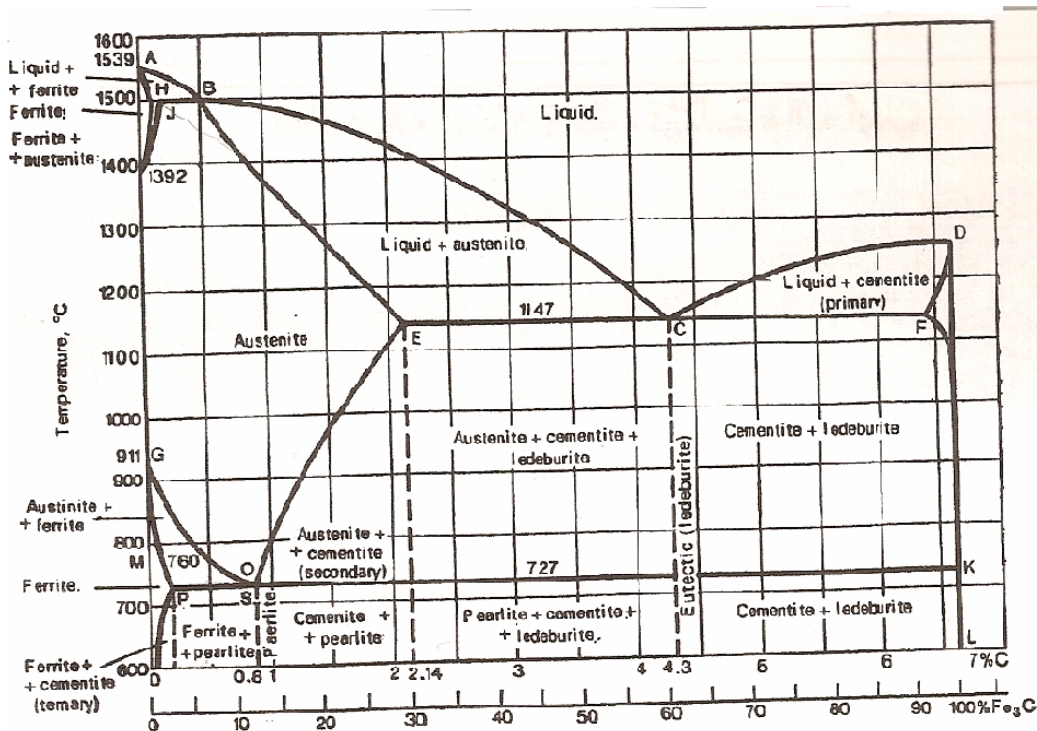
فاز فریت

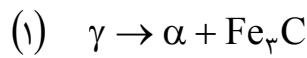
کربن در نمودار آهن کربن می تواند به صورت دو نوع فاز مختلف ظاهر شود. یکی کربن خالص به عنوان گرافیت که با آهن یک سیستم تعادل پایدار را می سازد و دیگری کربن با آهن که تشکیل فازی به نام



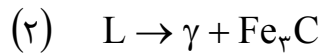
کاربید آهن (یا سمنتیت با 6.67٪ کربن را می دهد که از لحاظ تعادلی سیستمی نیمه پایدار خواهد بود. لذا نمودار را می توان همچنین به عنوان یک سیستم کامل از دو عنصر آهن- کربن در نظر گرفت.

دیگرا تعادلی آهن- کربن به شکل زیر می باشد:

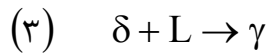




واکنش یوتکتوئید (فاز پرلیت)



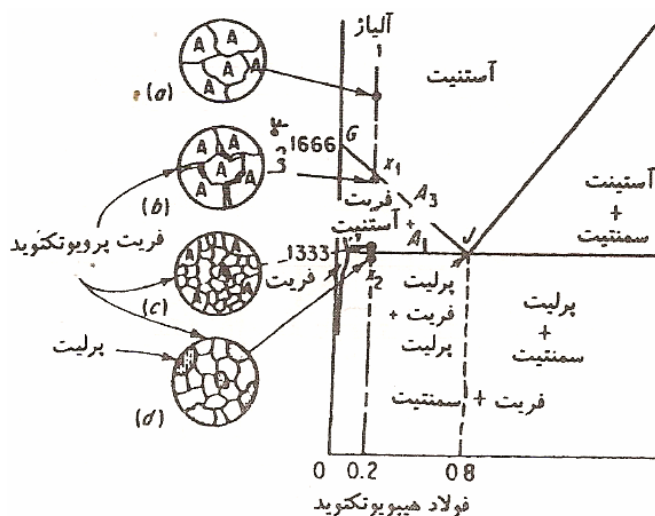
واکنش یوتکتیک (فاز لدبوریت)



واکنش پریتکتیک (فاز آستنیت)

فولاد هیپویوتکتوئید: شکل زیر یک فولاد هیپویوتکتوئید را نشان می دهد که 0/2 درصد کربن دارد. در ناحیه آستنیت، این آلیاژ یک محلول جامد بین نشین یکنواخت است. وقتی آلیاژ بطور خیلی آرام سرد می شود تا نقطه X1 روی خط GI هیچگونه تغییری در آن مشاهده نمی شود، خط GJ را خط دمای بحرانی بالایی در ناحیه هیپویوتکتوئید نامیده و با A3 نشان می دهند. تغییر آلوتروپی از FCC به BCC برای آهن خالص در دمای 910°C رخ می دهد. ولی همچنانکه از خط A3 مشخص است با افزایش مقدار کربن در آهن این دما کاهش می یابد. بنابراین، در نقطه X1 در مرز دانه های آستنیت، فریت شروع به ظاهر شدن می کند. لذا آنجایی که فریت مقدار بسیار کمی از کربن را می تواند در خود حل کند. بنابراین در این نواحی قبل از تغییر شبکه به BCC کربن اضافی باید از آن خارج شود. کربنی که از محلول خارج می شود در آستنیت باقیمانده حل می گردد بطوریکه با ادامه خنک شدن و افزایش فریت، آستنیت باقیمانده از کربن غنی تر می گردد و مقدار کربن آن در طول خط A3 به طرف پایین حرکت می کند. سرانجام درجه حرارت آلیاژ به نقطه X2 روی خط HJ می رسد. خط HJ را خط دمای بحرانی پایین در ناحیه هیپویوتکتوئیدی نامیده و با A1 نشان می دهند. خط A1، خط دمای یوتکتوئید است و پایین ترین دمایی است که آهن می تواند تحت شرایط تعادلی بصورت FCC وجود داشته باشد. در لحظه ای که دما به خط A1 می رسد. ساختار میکروسکوپی تقریباً شامل 25٪ آستنیت و 75 درصد فریت است. آستنیت باقیمانده که 25 درصد کل آلیاژ است دارای 0/8 درصد

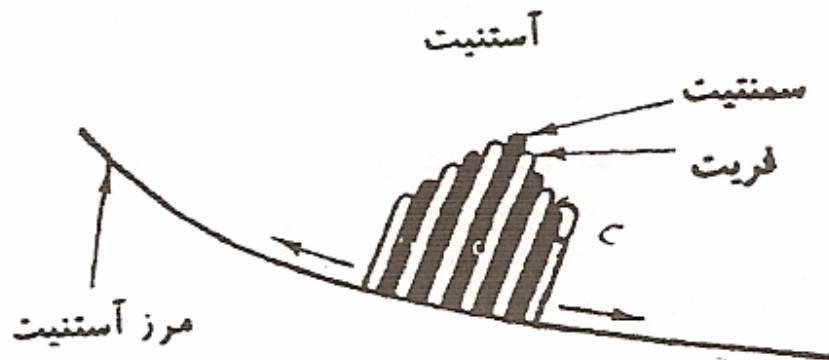
کربن است و تحت واکنش یوتکتوئید قرار می گیرد. بنابراین در پایان واکنش در ساختار میکروسکوپی تقریباً 25 درصد پرلیت و 75 درصد فریت اولیه مشاهده خواهد شد. ساختار و مورفولوژی انجماد آلیاژ هیپویوتکتوئید در شکل زیر نشان داده شده است. باید توجه داشت که از زیر دمای A1 تا دمای محیط دیگر استحاله ای صورت نمی گیرد و تنها اندکی رشد وجود خواهد داشت



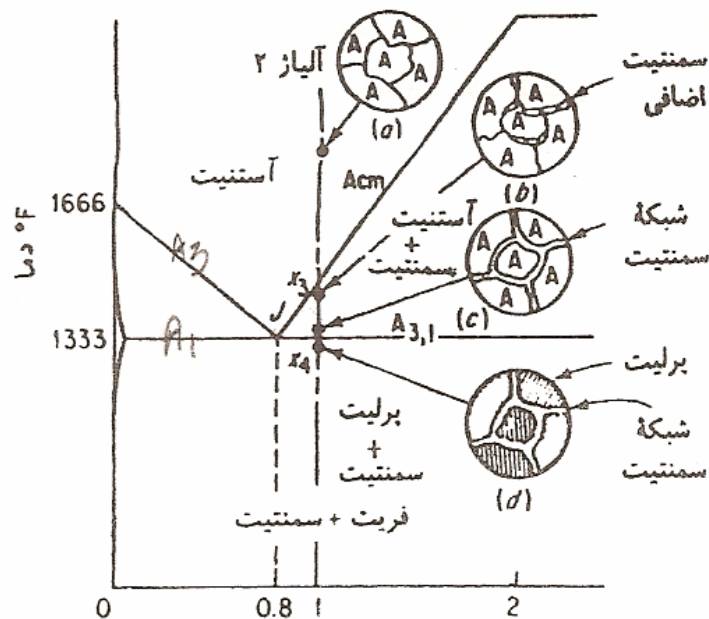
فولاد یوتکتوئید: ریز ساختار فولاد یوتکتوئید تماماً پرلیتی است. پرلیت به صورت لایه های متناوبی از صفحات موازی فریت و سمنتیت است. مقادیر نسبی فریت و سمنتیت موجود در پرلیت با استفاده از قانون اهرم بترتیب 89٪ و 11٪ می باشد. پس نسبت وزنی فازها 8:1 است. چگالی فریت و سمانتیت نزدیک هم است (بترتیب $7870 \text{ Kg/m}^3, 7700 \text{ Kg/m}^3$) نسبت های حجمی فریت و سمانتیت موجود در پرلیت نیز تقریباً به یک اندازه است. از طرفی صفحات سمانتیت بسیار نازکتر از صفحات فریت می باشد.

از آنجائیکه قابلیت حلالیت کربن در آستنیت نسبت به فریت بیشتر است از اینرو در حین تغییر ساختار بلوری از آستنیت به فریت، باید اتم های کربن از محلول جدا شوند. از اینرو اولین مرحله تغییر آستنیت رسوب اتم های

کربن بصورت صفحات سمانتیت است . سپس به علت پائین آمدن مقدار کربن در مناطق مجاور صفحات سمانتیت ،اتم های آهن بصورت BCC (فریت) در کنار هم قرار می گیرند و بدین ترتیب لایه های نازک فریت در دو طرف صفحات سمانتیت رشد می کنند . در نهایت پرلیت حاصل در زیر میکروسکوپ به صورت اثر انگشت دیده می شود . این واکنش معمولاً در مرز دانه های آستنیت شروع شده و به طرف داخل این دانه ها رشد می کنند .



فولادهای هایپرئوتکتوئید . آلیاژ 2 شکل زیر یک هایپرئوتکتوئید است که 1٪ کربن دارد . در حین سرد کردن آرام تا نقطه X3 روی خط CJ ، هیچگونه تغییری در آلیاژ رخ نمی دهد . خط CJ را خط دمای بحرانی بالایی در منطقه هایپرئوتکتوئید نامیده و با A_{Cm} نشان می دهند . خط A_{Cm} حداکثر مقدار کربنی که می تواند در آستنیت حل شود را به صورت تابعی از دما نشان می دهد .



در بالای خط A_{Cm} آستنیت به صورت محلول جامد غیر اشباع است. در نقطه X_3 روی خط A_{Cm} آستنیت از نظر مقدار کربن به حد اشباع می رسد. با کاهش درجه حرارت حداکثر کربنی که می تواند در آستنیت حل شود کاهش یافته ورودی خط A_{Cm} به طرف نقطه J حرکت می کند. بنابراین با کاهش دما از X_3 به X_4 کربن اضافی از محلول اشباع جدا شده و به صورت سمانتیت اولیه در طول مرز دانه ها رسوب می کند. سرانجام در نقطه X_4 آلیاژ به خط دمای یوتکتوئید می رسد. در لحظه رسیدن دما به خط A_1 ، ساختار میکروسکوپی آلیاژ دارای مقدار بیشتری آستنیت است و سمانتیت پرویوتکتوئید اضافی بصورت شبکه ای، دانه های آستنیت را احاطه کرده است. خط A_1 برای فولادهای هایپر یوتکتوئید، نشان دهنده شروع و پایان تغییر آلوتروپیک آستنیت به فریت است. طی همان فرآیندی که توضیح داده شد آستنیت باقیمانده به مخلوط یوتکتوئید یعنی پرلیت

تبدیل می گردد . در شکل فوق ساختار و مرفولوژی انجماد این آلیاژ نشان داده شده است .

متالوگرافی:

ظاهر ساختن ترکیب و ساختمان فلزها و آلیاژها در زیر میکروسکوپ را متالوگرافی گویند. به این منظور ابتدا قسمتی از فلز برش خورده، سطح نمونه را توسط سمباده های 80 و 120 و 180 ... 1000 سمباده زده و پس از آن بوسیله پارچه ماهوت که روی صفحه دوار نصب گردیده و با آب مرطوب شد پرداخت می شود. هنگام استفاده از پارچه ماهوت مرطوب از سایندها اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) بسیار ظریف (قطر 0.001 mm) استفاده می شود. که همراه با آب روی پارچه ماهوت پاشیده می شود. اکسید آلومینیوم ساینده آلیاژهای آهنی می باشد و برای آلیاژهای نرم تر از اکسید منیزیوم استفاده می شود.

پس از آئینه ای کردن سطح نمونه آنرا بوسیله محلولی خورنده (مثلاً برای چدن و فولاد محلول 5٪ اسید نیتریک در الکل (نایتال) در زمانی معین (بستگی به غلظت اسید در الکل) نگه می دارند تا فازهای مختلف به اندازه غیر مساوی خورده شوند که در نتیجه انعکاس نور آنها متفاوت خواهد بود. بر حسب مقدار انعکاس نور هر فاز و سطح آن، فازها به طور دقیق مشخص خواهند شد و با این معلومات خاصیت مکانیکی تقریبی قطعه تشخیص داده خواهد شد.

فازهای مختلف در زیر میکروسکوپ:

بر اساس آنچه گفته شد می توان فازهای گوناگون را در زیر میکروسکوپ مشاهده نمود.

در زیر میکروسکوپ:

فاز فریت به صورت سفید رنگ دیده می شود. (سفید فرو رفته به علت قابلیت خورده شدن زیاد توسط محلول اچ نایتال) فاز آستنیت سفید مات دیده می شود.

فاز پرلیت نواری شکل است.

فاز سمنتیت تیره رنگ است. (در واقع سمنتیت نیز سفید براق است ولی دو طرف آن به یکدیگر به حدی نزدیکند که همانند یک خط مشکی دیده می شود.)

درصد هر فاز: قانون اهرم

مثال) در دیاگرام آهن کربن

$$C\% = 4/3 \quad T = 1147 - \Delta T$$

$$W_{\gamma} = \frac{6/67 - 4/3}{6/67 - 1/7} \times 100 =$$

$$W_{Fe_3C} = \frac{4/3 - 1/7}{6/67 - 1/7} \times 100 =$$

$$C\% = 0/8\% \quad T = 723 - \Delta T$$

$$W_{\alpha} = \frac{6/67 - 0/8}{6/67 - 0/02} \times 100 =$$

$$W_{Fe_3C} = \frac{0/8 - 0/02}{6/67 - 0/02} \times 100 =$$

تاثیر عناصر آلیاژی در فولادها:

تأثیر عناصر آلیاژی در مستحکم سازی آهن به ترتیب نزولی به صورت زیر می باشد.

کروم ← تنگستن ← و انادیوم ← مولیبدن ← نیکل ← منگنز ← سیلیسیم

این اثر بر اساس افزایش وزنی مساوی استوار است.

نکته:

کروم : عنصری است که قابلیت سخت شدن را زیاد می کند، مقاومت به سایش و فرسایش را بهبود می بخشد.

مس : جهت مقاومت به خوردگی افزوده می شود.

سرب : قابلیت ماشینکاری و روغنکاری را افزایش می دهد.

فولادهای آلیاژی سرب دار را می توان تحت عملیات شکل دادن، برش شعله ای، جوشکاری یا عملیات حرارتی قرار داد ولی با این همه باید در حین انجام اعمال حرارتی نهایت احتیاط را مبذول داشت، حرارت دادن بایستی در یک منطقه تهویه شده انجام گیرد، غلظت بخار سرب کاهش یافته و از بوجود آمدن یک خطر ایمنی اجتناب شود.

تنگستن : باعث افزایش سختی و مقاومت به سایش می شود.

نکته: عناصر اصلی عمومی فولادهای کم آلیاژ به ترتیب نزولی کربن سیلیسیم منگنز می باشد.

فولادهای ابزار تندبر:

فولادهای ابزار تند بر دارای سختی بالایی می باشند، به موجب این خاصیت، ابزار ساخته شده از فولادهای تندبر می توانند در سرعت و درجه حرارتی که ابزار معمولی نرم و قابل برش می شوند، بنحو رضایت بخشی کار کنند.

عناصر آلیاژ دهنده اصلی، تنگستن، کروم و وانادیوم هستند. یکی از پر مصرف ترین فولادهای تندبر فولاد 1-4-18 است که 18٪ تنگستن، 4٪ کروم و 1٪ وانادیوم دارد. مقدار کربن در فولادهای تندبر، معمولاً در حدود 0.5 - 0.9 درصد است.

نکته :

- فولاد ساده کربنی فولادی است که عناصر اصلی آن کربن سیلیسیم منگنز می باشد.

- فولاد ساختمانی فولاد ساده کربن با حدود 0.2 درصد کربن می باشد.

نکته: با افزایش درصد کربن در فولادهای ساده کربنی سختی و استحکام فولاد افزایش می یابد و قابلیت عملیات حرارتی زیاد می شود.

چدن‌ها:

اصولاً چدن آلیاژ کربن، سیلیسیم، آهن است که مقدار کربن آن بیشتر از میزانی است که می تواند در محلول جامد آستنیت در درجه حرارت یوتکتیک باقی بماند. بنابراین چدن‌ها معمولاً محتوی برخی از محصولات تجزیه نظیر گرافیت یا سمنتیت آزاد هستند، معمولاً مقدار کربن در چدن بیشتر از 2٪ و کمتر از 4.5٪ می باشد. سیلیسیم به عنوان عامل گرافیت کننده عمل می کند و معمولاً مقدار آن در حدود 0.5 تا 2٪ است. (البته گاهی اوقات در آهنهای سیلیسیم دار مخصوص ، مقدار سیلیس از این هم تجاوز می کند.)

انواع چدن‌ها:

چدن خاکستری Gray Cast Iron

چدن سفید White Cast Iron

چدن چکشخوار Malleable Iron

چدن کروی یا متورق Ductile (Nodular) Iron

چدن آلیاژی Alloy Cast Iron

وقتی اصطلاح های خاکستری یا سفید برای چدن‌ها بکار می روند، نشانگر رنگ مقطع یک قطعه ریختگی می باشد چدن خاکستری دارای مقطع تیره رنگ بوده در حالی که رنگ مقطع چدن سفید خاکستری روشن، یا تقریباً سفید است.

چدن چکشخوار، همانطور که از نامش پیداست قبل از اینکه بشکند، قابلیت تنش و تغییر فرم پایداری را دارد.

چدن متورق یا چدن کروی یا با گرافیت کروی شبیه چدن چکشخوار (مالیبل) است بطوری که بسیار انعطاف پذیر تر و سفت تر از هر دو نوع چدن خاکستری می باشد، با این تفاوت که روش تولید و ترکیب آن با چدن چکشخوار فرق می کند. چدن کروی مقاومت کشش و سیلان زیادتری از چدن چکشخوار دارد. چدن های آلیاژی آنهایی هستند که برای اصلاح خواص بدست آمده از عناصر معمولی (آهن، کربن، سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد) به آنها عناصری نظیر کروم، نیکل، مولیبدن، مس و غیره می افزایند، مثلاً نیکل را به چدن خاکستری می افزایند تا درجه حرارت دگرگونی یوتکتوئید را به درجه ای کاهش دهد که آستنیت در درجه حرارت اتاق باقی بماند. این چدن خواص مغناطیسی و مقاومت به خوردگی زیادی داشته و بنام چدن آستنیتی مشهور است.

چدن خاکستری:

چدن خاکستری با گرافیت ورقه ای یا کرمی شکل می باشد و به صورت GGL (یا GG) نشان داده می شود شکل این گرافیت ها به انواع A, B, C, D, E تقسیم می شوند که با شرائط مختلف (نوع قالب، مقدار کربن، سرعت سرد کردن و عناصر آلیاژی) بوجود می آیند.

شکل پذیری این نوع چدنها بسیار کم می باشد.

(درسیلندر، سر سیلندر، پایه های ماشین تراش به علت نیاز به قابلیت جذب ارتعاش از این نوع چدنها استفاده می شود)

چدنهای خاکستری عموماً یوتکتیکی می باشند.

چدن سفید:

گرایش انجماد چدن به حالت سفید شدن بوسیله سرعت سرد کردن لازم، که باعث سرد کردن فلز مذاب به زیر درجه حرارت منطقه ای که در آن یوتکتیک چدن سفید می تواند منجمد شود تعیین می گردد.

چدن چکشخوار:

چدن چکشخوار یا مالیبل، ذاتاً از نوع چدنهای هیپویوتکتیکی کم آلیاژ یا غیر آلیاژی هستند.

این چدنها مقاومت به سایش خوبی دارند.

چدنهای مالیبل نظیر چدنهای نشکن دارای مجموعه ای خواص چکش خواری و چقرمگی خوب می باشد و در مواردی که چکش خواری و چقرمگی خوب می باشند و در مواردی که چکش خواری و چقرمگی حائز

اهمیت باشد. چدن مالیبیل و نشکن می توانند جایگزین هم شوند. برای انتخاب یکی از دو چدن نشکن یا مالیبیل در اکثر موارد پیش از آنکه خواص آنها مطرح باشد، بیشتر اقتصادی بودن آنها در نظر گرفته می شود.

چدن باگرافیت کرووی یا چدن نشکن :

در این نوع چدن، همانند چدن خاکستری، کربن به صورت گرافیت ولی به شکل تکه های کرووی شکل است. معمولاً درصد گوگرد و فسفر این نوع چدن کمتر از چدن خاکستری است. چدن با گرافیت کرووی همانند چدن خاکستری دارای سیالیت بالا، نقطه ذوب پائین و قابلیت ماشینکاری و مقاومت به سایش خوب هستند مزیت عمده این نوع چدن در مقایسه با چدن خاکستری استحکام و انعطاف پذیری آن است.

چدنهای آلیاژی:

گاهاً برای حصول برخی خواص خاص عناصری به چدنها افزوده می شوند که به این نوع چدنها، چدنهای آلیاژی گفته می شود.

این نوع چدنها مقاومت در برابر خزش، خستگی و شوک حرارتی خوبی دارند.

زمینه چدنها:

چدنها عموماً دارای زمینه فریتی، پرلیتی یا فریتی پرلیتی می باشند.



چند تست :

تست آزاد 79

کدام عناصر همواره باعث سختی و استحکام بیشتر چدن می شود؟

(1) کرم و سیلیسیم (2) کربن و مولیبدن (3) سیلیسیم و تنگستن (4) مولیبدن و تنگستن

پاسخ گزینه 4

تست کنکور (81)

ویژگی چدن مالیبل پرلیتی کدام است؟

(1) استحکام زیاد، چکش خواری زیاد (2) استحکام زیاد، مقاومت به سایش خوب

(3) سختی زیاد، چکش خواری زیاد (4) سختی زیاد، مقاومت در برابر اسیدها

پاسخ گزینه 1

تست آزاد 82)

فولادهای تند بر شامل کدام عناصر آلیاژی است؟

1) کبالت، نیکل و انادیوم 2) تنگستن، کرم، و انادیم 3) کبالت تنگستن، نیکل 4) آلومینیوم کرم

و انادیوم

پاسخ گزینه 2

تست آزاد 82) در آلیاژهای آهن-کربن ساده، فولاد با 0.8 درصد کربن شامل کدام ترکیب است؟

1) صد در صد پرلیت 2) پرلیت + فریت 3) فریت + آستنیت 4) صد در صد آستنیت

یوتکتوئید.

پاسخ گزینه 1

تست کنکور 81)

شبه فضاپی آهن در دمای 911°C کدام است؟

1) شبکه مکعبی با سطوح مرکز دار 2) شبکه مکعبی مرکز دار

3) شبکه منشوری با قاعده هشت ضلعی 4) شبکه هرمی

پاسخ گزینه 1

تست آزاد 83)

عنصر آلیاژی اصلی فولاد تندبر کدام است؟

1) وانادیوم 2) تنگستن 3) تیتانیوم 4) کرم

پاسخ گزینه 2

تست آزاد 82) حدود مقدار کربن موجود در آلیاژ آهن - کربن با 80٪ پرلیت کدام است؟

1) 1.2 2) 0.54 3) 0.8 4) 0.64

پاسخ گزینه 4

با توجه به اینکه مقدار کربن موجود در پرلیت 0.8٪ است لذا مقدار کربن کل برابر است با :

$$\frac{0.8}{100} \times \frac{0.8}{100} = 0.64\%$$

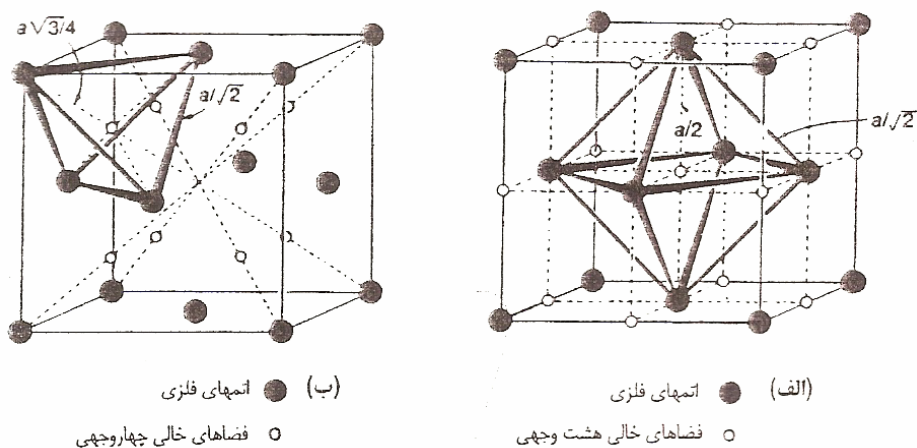
عملیات حرارتی:

عملیات حرارتی عموماً به فرآیندی از عملیات گرم کردن تا دمای معینی پائین تر از دمای ذوب و نگهداشتن در آن دما برای مدت زمانی و سپس سرد کردن با سرعت معین و کنترل شده گفته می شود. بنابراین در عملیات حرارتی علاوه بر اهمیت داده های دما و زمان، سرعت گرم و سرد کردن نیز لازم خواهد بود. همچنین یک عملیات حرارتی می تواند از چند مرحله حرارت دادن در دماهای مختلف تشکیل شده باشد ،

اغلب سیکل‌های عملیات حرارتی توسط گرم کردن تا ناحیه آستنیت انجام می‌شود لذا مطالعه انحلال کربن در آستنیت دارای اهمیت می‌باشد.

همانطور که گفته شد آستنیت عبارت از محلول جامد بین نشینی کربن در آهن با شبکه بلوری مکعبی با وجوه مرکز دار (FCC) است. کربن با وارد شدن در شبکه بلوری آهن آستنیتی، ناحیه تشکیل و پایداری آستنیت را در فولادها گسترش می‌دهد. با اضافه شدن کربن ناحیه پایداری آستنیت از 912 تا 1394 درجه سانتیگراد که گستره تشکیل و پایداری آهن آستنیتی است، به گستره وسیعی از دما و ترکیب شیمیایی، افزایش می‌یابد. حداکثر حلالیت کربن در آستنیت، در 1148 درجه سانتیگراد است که به 2.11 درصد می‌رسد.

در شبکه بلوری FCC دو نوع فضای خالی بین نشینی وجود دارد که می‌توانند محل‌های مناسبی برای قرار گرفتن اتم‌های کربن باشند. این فضاها که به هشت وجهی و چهار وجهی موسوم‌اند، در شکل زیر نشان داده شده‌اند.



نام دو نوع فضای خالی از تعداد صفحات جانبی چند وجهیهای گرفته شده که رئوس آنها اتم های آهنی هستند که آن فضا را احاطه کرده اند. یک اتم کربن اگر در یک فضای هشت وجهی قرار گیرد دارای 6 اتم آهن در مجاور خود و اگر در یک فضای چهار وجهی قرار گیرد، دارای 4 اتم در مجاور خود خواهد بود. اندازه های این دو نوع فضای خالی، به طور قابل ملاحظه ای با یکدیگر متفاوت است. در آستنیت، با فرض اینکه اتم های آهن کروی بوده و در تماس با یکدیگر باشند یک فضای هشت وجهی قادر است اتمی به شعاع 0.52 \AA را در خود جای دهد. در حالی که یک فضای چهار وجهی می تواند اتمی به شعاع 0.28 \AA را در خود بپذیرد. با توجه به اینکه شعاع اتمی کربن برابر با 0.7 \AA است، فضاهای هشت وجهی راحت تر از فضاهای چهار وجهی می توانند اتم های کربن را در خود جای دهند. البته لازم به تذکر است که حتی برای نشستن اتم های کربن در فضاهای هشت وجهی نیز نیاز به انبساط شبکه ای است.

دماهای بحرانی در دیاگرام تعادلی آهن کربن:

دماهای بحرانی که در نمودار تعادلی آهن - کربن وجود دارند و از نظر عملیات حرارتی دارای اهمیت اند عبارتند از:

A_1 : مرز ناحیه دو فاز فریت - سمنتیت و یکی از نواحی دو فاز فریت - آستنیت و یا سمنتیت آستنیت.

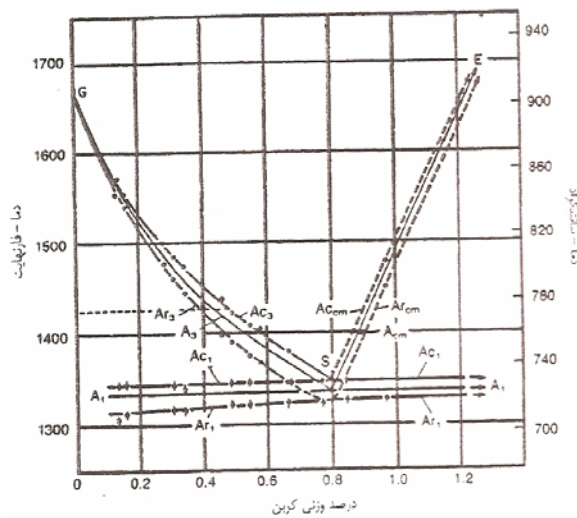
A_3 : فصل مشترک ناحیه دو فاز فریت - آستنیت و ناحیه تکفازی آستنیت .

A_{cm} : فصل مشترک بین ناحیه دو فاز فریت - سمنتیت - آستنیت و ناحیه تکفازی آستنیت است.

دماهای یاد شده تبدیل یک فاز به فاز دیگر را در شرایط تعادلی یعنی تحت شرایط گرمایش و سرمایش بسیار آهسته مشخص می کنند. به همین خاطر گاهی به جای حروف A_{cm} , A_3 , A_1 به ترتیب از A_{e3} , A_{e1} استفاده می شود. حرف e از اول کلمه تعادلی (Equilibrium) گرفته شده است.

دگرگونی هایی که در دماهای A_{cm} , A_3 , A_1 انجام می شوند تابع نفوذند، بنابراین دماهای بحرانی تابع آهنگ گرمایش، آهنگ سرمایش و همچنین ترکیب شیمیایی فولادند. گرمایش سریع باعث می شود که زمان قرار گرفتن نمونه در دماهای بحرانی تعادلی برای انجام نفوذ کافی نباشد و بنابراین دگرگونی در دمایی بالاتر از دمای بحرانی تعادلی انجام شود.

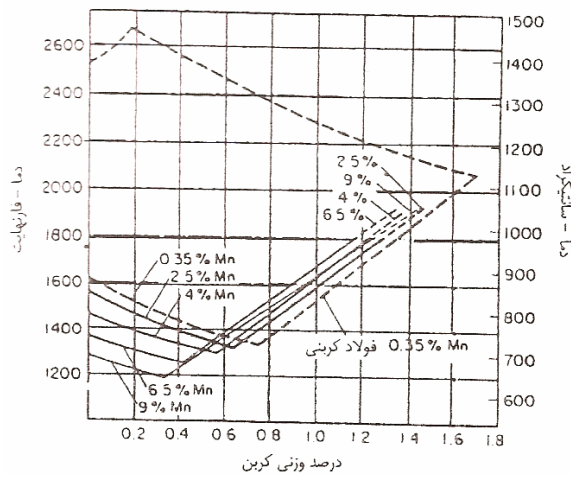
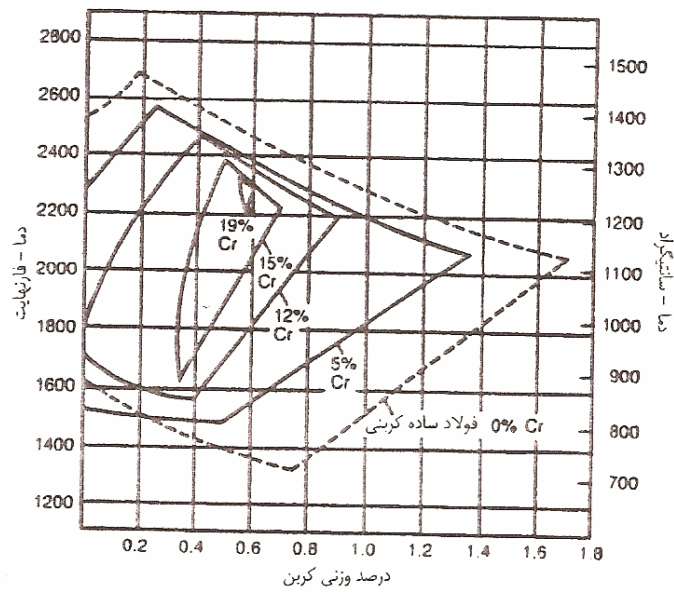
به همین ترتیب سرمایش سریع باعث می شود که دگرگونی در دمایی پایینتر از دمای بحرانی تعادلی انجام شود. در نمودار تعادلی آهن-کربن، اثرات آهنگ گرمایش و آهنگ سرمایش توسط حروف قراردادی جدیدی که به ترتیب عبارت اند از A_c , A_r مشخص می شوند (شکل زیر)



آهنگ گرمایش و سرمایش ۱۲۵۰/درجه سانتیگراد بر دقیقه

توزیع و اثرات عناصر آلیاژی در فولادها:

به طور کلی برخی از عناصر نظیر کرم، سیلیسیم، تنگستن، مولیبدن و تیتانیوم موجب پایداری فریت و برخی دیگر نظیر نیکل و منگنز باعث پایداری آستنیت می شوند. (اشکال زیر)

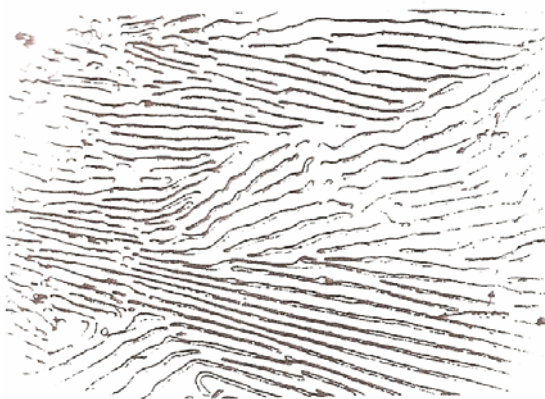


ساختارهای مختلف در دیاگرام آهن کربن:

پرلیت: محصول دگرگونی یوتکتوئید در فولادها، ساختار منحصر به فردی موسوم به پرلیت است که از لایه های متناوب فریت و سمنتیت تشکیل شده و مشابه اثر انگشت بر روی کاغذ است. فریت و سمنتیت فازهایی اند که هر دو در زیر میکروسکوپ روشن دیده می شوند، بنابراین خطوط سیاه رنگ موجود در شکل A در حقیقت فصل مشترک های این دو فازند. این موضوع در شکل B که ساختار پرلیتی را در یک فولاد C 0.8٪ نشان می دهد کاملاً مشخص است.



شکل A میکروساختار پرلیت مربوط به آلیاژ ۰.۷۵٪C-Fe که پس از استنیتته شدن در کوره سرد شده است. محلول حکاکی، پیکرال، بزرگنمایی، $\times 500$

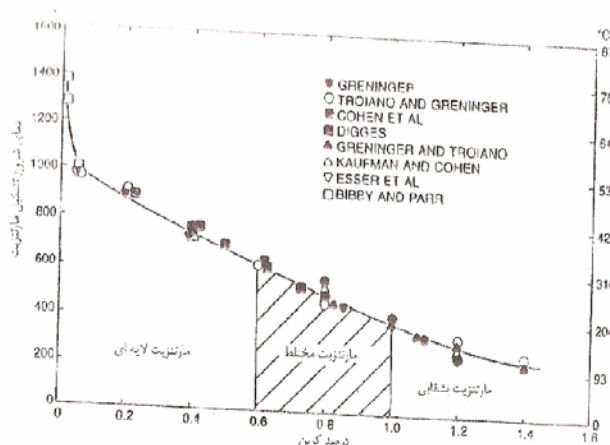


شکل B همان آلیاژ در بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر

مارتنزیت: دگرگونی مارتنزیت بر خلاف دگرگونی پرلیت که مستلزم نفوذ است و بنابراین در دماهای بالا انجام می شود، در دماهایی به مراتب پائین تر از دمای تشکیل پرلیت انجام می شود و بنابراین نفوذ در آن نقشی ندارد. مارتنزیت دارای میکروساختاری ریز و سوزنی شکل می باشد. تشکیل مارتنزیت مستلزم سریع سرد کردن و بنابراین متوقف کردن دگرگونی نفوذی است.

دمایی که در یک آلیاژ، دگرگونی آستنیت به مارتنزیت شروع می شود را دمای شروع تشکیل مارتنزیت نامیده و با M_S و نیز دمای پایان دگرگونی را با M_F نشان می دهند.

با افزایش درصد کربن دمای شروع دگرگونی مارتنزیتی M_S کاهش می یابد (شکل زیر)



اگر آستنیت خیلی سریع تا دمایی در زیر دمای تشکیل مارتنزیت سرد شود، مارتنزیت بلافاصله تشکیل می شود. حال اگر قبل از اینکه تمامی آستنیت به مارتنزیت تبدیل شود، سرد کردن متوقف شود، تشکیل مارتنزیت نیز متوقف می شود و ادامه تشکیل مارتنزیت فقط در صورتی امکانپذیر است که دما کاهش یابد.

دمای M_F آلیاژهایی که بیشتر از 0.3٪ کربن دارند، زیر دمای اتاق است، بنابراین در دمای اتاق و مخصوصاً در رابطه با فولادهای پرکربن همواره مقدار قابل ملاحظه ای آستنیت تبدیل نشده همراه مارتنزیت وجود دارد.

نکته: در فولادهای کربنی عملیات حرارتی پذیر، مارتنزیت به دو شکل عمده یکی لایه ای و دیگری بشقابی دیده می شود. واژه لایه ای، برای توصیف مارتنزیت تشکیل شده در فولادهای کم کربن و یا کربن متوسط است، در حالی که واژه بشقابی توصیف کننده مارتنزیت تشکیل شده در فولادهای پرکربن است.

بینیت و دگرگونی بینیتی:

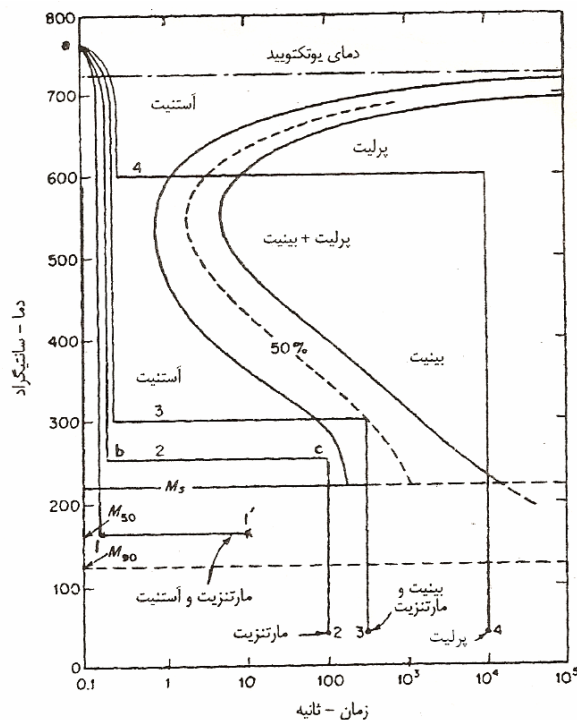
بینیت در فولادها در گستره دمایی بین پائین ترین دمای تشکیل پرلیت (P_F) و بالاترین دمای تشکیل مارتنزیت (M_s) تشکیل می شود. از جمله مشخصه های عمده دگرگونی بینیتی که مطالعه آن را مشکل نموده طبیعت دوگانه آن است. بدین صورت که دگرگونی بینیتی از بعضی جنبه ها شبیه به دگرگونی پرلیتی و از برخی جنبه ها مشابه دگرگونی مارتنزیتی است.

بر اساس میکروساختارها، دو شکل عمده بینیت وجود دارد، یکی بینیت بالایی یا بینیت پر شکل که در گستره دمایی درست زیر دمای تشکیل پرلیت به وجود می آید و دیگری بینیت پائینی یا بینیت سوزنی شکل که در دماهایی نزدیک دمای M_s تشکیل میشود.

نمودارهای زمان - دما - دگرگونی.

اثرات زمان بر روی ساختار و خواص نهایی فولادها توسط نمودارهای زمان - دما - دگرگونی که به نمودارهای TTT موسوم اند، مشخص می شود به این ترتیب به کمک نمودارهای یاد شده می توان اثرات هر دو پارامتر زمان و دما را بر روی پیشرفت دگرگونی در فولادها به سادگی بررسی کرد.

برای نشان دادن اصول استفاده از نمودارهای TTT نمودار مربوط به فولاد 1080 در شکل زیر رسم شده و بر روی آن چند مسیر انتخابی که فرض می شود در امتداد آنها نمونه ها از ناحیه آستنیت به دمای اتاق انتقال یابند در نظر گرفته شده و بررسی می شوند.



برای رسم نمودارهای TTT تعداد زیادی نمونه را تا دمای آستنیت گرم کرده یکساعت در آن دما نگهداشته می شود تا ساختار کاملاً یکنواخت شود. سپس یکسری از نمونه ها به دمایی ثابت بین A_1 و M_s رسانده می شوند. نمونه ها در دمای ثابت برای مدت زمانهای متفاوت نگهداری شده و سپس تا دمای اتاق سریع سرد می شوند.

با توجه به ساختار نهایی قطعه ها می توان زمان شروع و پایان هر استحاله را به این صورت مشخص کرد که در شرائطی که 1٪ از هر فاز وجود داشته باشد زمان شروع و زمانی که 99٪ از آن فاز وجود داشته باشد زمان پایان استحاله می باشد.

مسیر 1: نمونه از دمای 750 C° در ناحیه آستنیت تا دمای 160 درجه سانتیگراد سریع سرد شده و به مدت 10 ثانیه در این دما نگه داشته می شود، در بین دماهای 750 تا 160 درجه سانتیگراد آهنگ سرد شدن آنقدر زیاد است که پرلیت و بینیت فرصت تشکیل شدن را نداشته و بنابراین فولاد تا دمای M_s به صورت آستنیت باقی خواهد ماند از این دما تا دمای 160 C° مارتنزیت به صورت همدمای آستنیت به وجود می آید. از آنجایی که دمای 120 درجه سانتیگراد مشخص کننده دمایی است که فقط 50 درصد آستنیت به مارتنزیت تبدیل می شود و از طرفی تشکیل مارتنزیت مستقل از زمان است، بنابراین ساختار فولاد در نقطه $1'$ مشابه با نقطه 1 بوده و شامل 50 درصد مارتنزیت و 50 درصد آستنیت باقیمانده است.

مسیر 2: در این حالت نمونه از ناحیه آستنیت تا دمای 250 C° سریع سرد شده در این دما به مدت 100 ثانیه نگهداری شده و سپس تا دمای اتاق سریع سرد می شود. همانگونه که از شکل فوق مشخص است دمای 250 درجه سانتیگراد در گستره دمایی تشکیل بینیت است ولی زمان 100 ثانیه برای تشکیل بینیت کافی نیست و بنابراین در نقطه C ساختار فولاد صد درصد آستنیت ناپایدار است. لذا مسیر سرد کردن مرحله دوم از 250 درجه سانتیگراد تا دمای اتاق قطعه تماماً مارتنزیتی می شود.

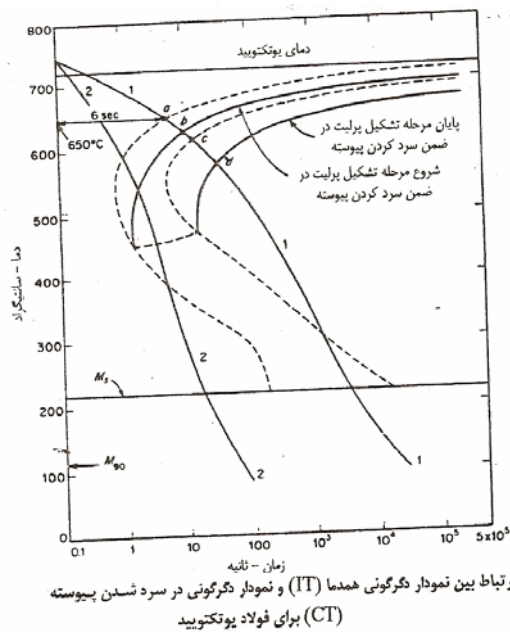
مسیر 3: قطعه تا 300 درجه سانتیگراد سریع سرد شده، در این دما به مدت 500 ثانیه نگهداری شده و سپس تا دمای اتاق سریع سرد می شود. نگه داشتن نمونه به مدت 500 ثانیه در دمای 300 درجه

سانتیگراد باعث خواهد شد که 50 درصد ساختار قطعه به بینیت تبدیل شود و 50 درصد باقیمانده در مرحله دوم سرد کردن مارتنزیت شود

مسیر 4: در این مسیر قطعه در دمای ثابت 600 درجه سانتیگراد کاملاً به پرلیت تبدیل می شود. از آنجائیکه پرلیت نمی تواند مستقیماً به بینیت و یا مارتنزیت تبدیل شود لذا پس از سریع سرد شدن مرحله دوم و رسیدن به دمای اتاق ساختار همچنان پرلیتی باقی می ماند.

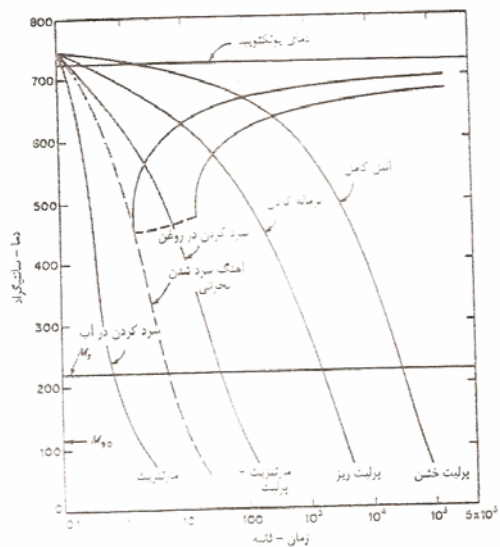
نمودارهای دگرگونی در ضمن سرد کردن پیوسته (CT):

نمودارهای TTT ابزار با ارزشی برای مطالعه وا بستگی دگرگونیهای آستنیت به دماست لیکن روابط زمان-دما که بر روی نمودارهای فوق مشخص شده تنها در مورد دگرگونی هایی صادق است که در دمای ثابت انجام می شود. در حالی که تنها تعداد محدودی از روشهای عملیات حرارتی بدین نحو انجام می شوند، به طوری که می توان گفت تقریباً در تمام موارد، فولادها تا ناحیه آستنیت حرارت داده شده و سپس به طور پیوسته تا دمای اتاق سرد میشوند. تفاوت این دو نوع نمودار در شکل زیر مشخص شده است.



اصول استفاده از نمودارهای دگرگونی غیر همدمما (سرد شدن پیوسته):

نمودار CT مربوط به فولاد کربنی ساده یوتکتوئیدی همراه با تعدادی منحنی سرد شدن در شکل زیر رسم شده است. منحنی های مزبور که چگونگی تشکیل میکروساختارهای مختلف در ضمن سرد شدن با آهنگهای متفاوت را به طور کیفی نشان می دهند، عبارتند از :



1- آنیل کامل: این منحنی نماینده آهنگ سرد شدن بسیار آهسته بوده و معمولاً موقعی که قطعه پس از آستنیت از ناحیه آستنیت به دمای اتاق در حدود یک روز است. در این حالت دگرگونی آستنیت به پرلیت در دمایی در حدود دمای تعادلی یوتکتوئید انجام گرفته و محصول دگرگونی، پرلیت خشن است.

2- نرماله کردن: این منحنی مشخص کننده عملیات حرارتی است که در آن نمونه ها با آهنگی بیشتر از حالت آنیل و نسبتاً متوسط سرد می شوند. برای این منظور نمونه ها پس از آستنیت شدن از کوره خارج شده و تا دمای اتاق در هوای آرام سرد می شوند. در این حالت دگرگونی در گستره دمایی 600 تا 500 درجه سانتیگراد انجام گرفته و در مدتی در حدود چند دقیقه خاتمه می یابد. ساختار حاصل در این حالت نیز پرلیت بوده ولی در مقایسه با حالت قبل بسیار ریزتر و ظریفتر است.

3- سرد کردن در روغن: این منحنی که مشخص کننده آهنگ سرد شدن بیشتر از نرماله کردن است، هنگامی به دست می آید که نمونه فولادی از دمای آستنیت مستقیماً به حمام روغن انداخته شود. ساختار نهایی در این حالت مخلوطی از پرلیت و مارتنزیت است.

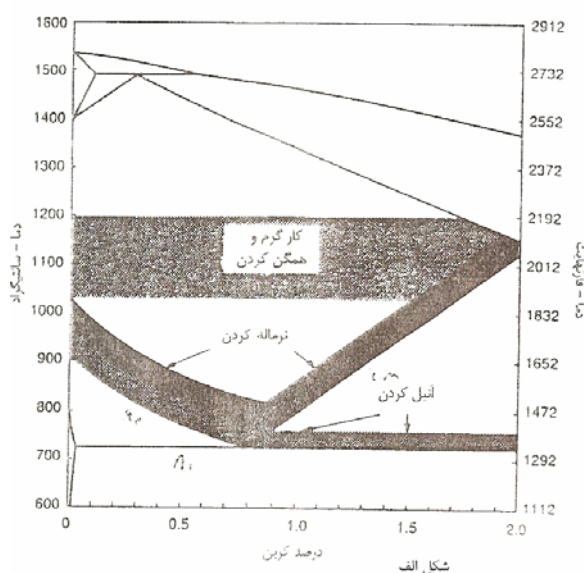
4- سرد کرن در آب: منحنی سرد شدنی که در انتهای سمت چپ قرار دارد، مربوط به حالتی است که پس از سرد شدن، ساختار قطعه کاملاً مارتنزیتی باشد. این امر مشابه با حالتی است که قطعه از دمای آستنیت مستقیماً به داخل آب انداخته شود.

5- آهنگ سرد شدن بحرانی: این منحنی به صورت خط چین مشخص شده و بر دماغه نمودار CT مماس است. در هر آهنگ سرد شدنی بیشتر از آهنگ سرد شدن بحرانی (سمت چپ منحنی خط چین) فولاد کاملاً مارتنزیت می شود، در حالی که اگر آهنگ سرد شدن کمتر از آهنگ سرد شدن بحرانی باشد (سمت راست منحنی خط چین) بجز مارتنزیت مقداری پرلیت (و یا بینیت) نیز در ساختار نهایی وجود خواهد داشت.

عملیات حرارتی برای تشکیل ساختارهای تعادلی :

1- همگن کردن (یکنواخت کردن) :

از جمله مشخصه های فولادهای ریخته شده عبارت از ساختار شاخه ای، جدایش موضعی و نایکنواختی در ترکیب شیمیایی است. پدیده های مزبور که ناشی از ناتعادلی سرد شدن در ضمن انجماد و عدم نفوذ کامل عناصر آلیاژی است، باعث افت خواص مکانیکی فولاد از جمله قابلیت کارگرم و / یا سرد و همچنین کاهش کیفیت و کارایی عملیات حرارتی مختلف میشوند. برای این منظور، ساختار و ترکیب شیمیایی فولادهای ریخته گری شده باید به کمک عملیات حرارتی مناسب یکنواخت شود. برای این منظور قطعات مورد نظر را دردمای نسبتاً بالا (شکل الف) برای مدت زمان نسبتاً طولانی (زمان حرارت دادن بستگی به ابعاد و ترکیب شیمیایی قطعه دارد) حرارت داده و سپس به آهستگی تا دمای اتاق سرد می کنند.



این عملیات به همگن (یکنواخت) کردن و یا آنیل نفوذی موسوم است. از آنجایی که دمای انتخاب شده نسبتاً بالاست نفوذ سریع بوده و بنابراین پس از پایان عملیات، نایکنواختی میکروساختار و ترکیب شیمیایی از بین می رود. به علاوه، فازهای ثانویه نظیر کاربیدهای راسب شده به هنگام انجماد، در آستنیت حل شده و به صورت محلول در می آیند. همچنان که از شکل الف مشخص است، گستره دمایی همگن کردن و کارگرم بر یکدیگر منطبق اند.

2- آنیل کردن

واژه آنیل دارای معنی، مفهوم و کاربرد وسیعی است، بدین صورت که، به هر نوع عملیات حرارتی که منجر به تشکیل ساختاری بجز مارتنزیت و با سختی کم و انعطاف پذیری زیاد شود اطلاق میشود. از آنجایی که این مفهوم بسیار کلی است، عملیات حرارتی آنیل به یکسری فرآیندهای مشخصتر و دقیقتر تقسیم می شود. این تقسیم بندی بر اساس دمای عملیات، روش سرد کردن، ساختار و خواص نهایی است.

- آنیل کامل.

آنیل کامل عبارت از حرارت دادن فولاد در گستره دمایی نشان داده شده در شکل الف و سپس سرد کردن آهسته، معمولاً در کوره است. تحت شرایط فوق آهنگ سرد شدن در حدود 0.02 درجه سانتیگراد بر ثانیه است. همچنان که از شکل الف مشخص است، گستره دمایی آستنیته کردن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن فولاد است. بدین صورت که برای فولادهای هیپوپوتکتوئید حدود 50 درجه سانتیگراد بالای خط A_3 و برای فولادهای هایپریوتکتوئید حدود 50 درجه سانتیگراد بالای خط A_1 است.

- آنیل همدما:

این عملیات شامل حرارت دادن فولاد در دو دمای مختلف است، ابتدا عملیات آستنیت‌سازی کردن که در همان گستره دمایی مربوط به آنیل کامل انجام می‌شود و سپس سرد کردن سریع تا دمای دگرگونی (زیر خط A_1) و نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت انجام دگرگونی پس از پایان دگرگونی فولاد را با هر آهنگ سرد شدن دلخواهی می‌توان سرد کرد.

نکته: زمان لازم برای آنیل همدمای در مقایسه با آنیل کامل به مراتب کمتر است، در حالی که سختی نهایی کمی بیشتر خواهد بود.

نکته: هر گاه از واژه آنیل بدون پسوند استفاده شود، منظور همان آنیل کامل است.

نکته: میکروساختار حاصل از آنیل همدمای همانند آنیل کامل در فولادهای هیپوئوتکتوئید، یوتکتوئید و هایپر یوتکتوئید به ترتیب عبارت از فریت-پرلیت، پرلیت و پرلیت سمنتیت است.

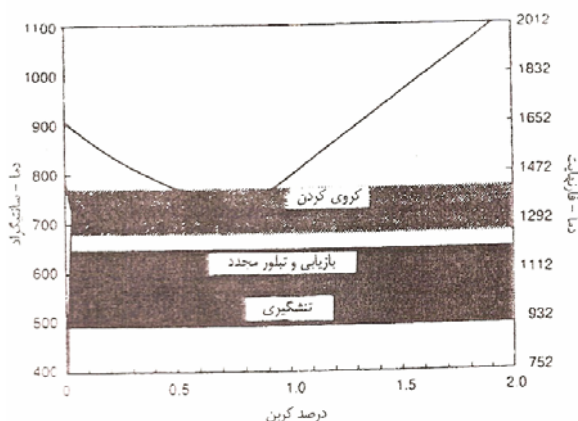
3- نرماله کردن:

نرماله کردن یکی دیگر از انواع روشهای عملیات حرارتی است که میکروساختار حاصل همانند آنیل کردن شامل پرلیت، مخلوطی از پرلیت و فریت و یا مخلوطی از پرلیت و سمنتیت (بستگی به ترکیب شیمیایی فولاد) است. لیکن تفاوت‌های مهمی بین نرماله و آنیل کردن وجود دارد. در نرماله کردن، دمای آستنیت‌سازی کردن برای فولادهای هیپوئوتکتوئید کمی بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل کردن است در حالی که برای فولادهای هایپرئوتکتوئید از گستره دمایی حدود 50 درجه سانتیگراد بالای A_{cm} استفاده می‌شود.

برخلاف آنیل کامل که فولاد در کوره سرد می شود در عملیات نرماله کردن قطعات پس از آستنیته شدن در هوا سرد می شوند.

4- کرووی کردن:

انعطاف پذیرترین و نرم ترین شرائط در هر فولاد مربوط به میکروساختاری شامل سمنتیت کرووی توزیع شده به طور یکنواخت در زمینه فریتی می شود.



شکل ب) گستره دمایی مربوط به عملیات حرارتی کرووی کردن، تشنگیری، بازایی و تبلور مجدد

مهمترین روش های عملیات حرارتی کرووی کردن:

- 1- حرارت دادن فولاد تا درست زیر دمای A_{c1} ، نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کرووی شدن و سپس سرد کردن آن در هوا تا دمای اتاق
- 2- حرارت دادن فولاد تا ناحیه دوفازی بین A_{c1} و A_{c3} برای فولادهای هایپوئکتوئید و یا بین A_{cm} - A_{c1} برای فولادهای هایپرئوئکتوئید به منظور آستنیته کردن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای A_{r1} نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کرووی شدن و سپس سرد کردن در هوا تا دمای اتاق.

3- حرارت دادن فولاد تا بالای دمای A_{c1} و آستنیت‌ه کردن جزئی، سرد کردن تا زیر دمای A_{r1} و ننگ داشتن برای مدت زمانی در حدود 30 دقیقه، گرم کردن مجدد تا بالای A_{c1} و تکرار عملیات تا اینکه میکروساختاری با سمنتیت کاملاً کروی شده بدست آید. پس از کروی شدن سمنتیت، قطعه را تا دمای اتاق در هوا سرد می‌کنند.

نکته: پس از پایان سیکل عملیات حرارتی کروی کردن، آهنگ سرد شدن تا دمای اتاق اثری بر روی درصد سمنتیت کروی و یا ساختار زمینه ندارد. لکن ترجیح داده میشود که قطعات در کوره یا هوا سرد شوند.

5- بازیابی و تبلور مجدد:

انجام کار سرد بر روی فولادها (تقریباً تمامی فلزات و آلیاژها) باعث افزایش استحکام و سختی و کاهش انعطاف پذیری یا شکل پذیری آنها میشود. این پدیده که به کار سختی موسوم است ناشی از افزایش پیوسته معایب بلوری در اثر ادامه انجام کار سرد است. در اثر کار سرد انرژی داخلی بلور افزایش یافته و بنابراین از نظر ترمودینامیکی ناپایدار خواهد شد.

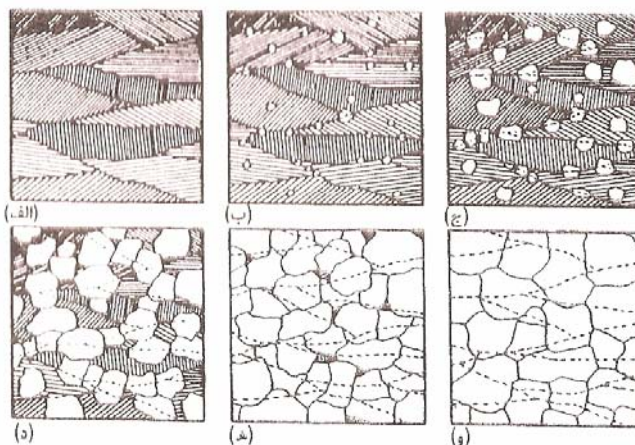
حرارت دادن چنین قطعه ای موجب از بین رفتن معایب بلوری موجود و بازیابی میکروساختار و خواص فیزیکی و مکانیکی اولیه می‌شود. این پدیده در کتابهای متالورژی تحت عنوان بازیابی و تبلور مجدد بررسی و مطالعه می‌شود.

بازیابی:

در ضمن عملیات حرارتی بازبایی، تغییرات عمده ای که در ساختار بلوری فلز به وجود می آید عبارت از کاهش و یا از بین رفتن معایب بلوری که از قدرت تحرک زیادی برخوردارند است. در این عملیات، معایب نقطه ای نظیر جاهای خالی و اتم های اضافی یکدیگر را خنثی می کنند، نابجایی های پیچی چپ گرد و راست گرد و نابجایی های لبه ای مثبت و منفی به ترتیب در یکدیگر ادغام شده و حذف می شوند. در نتیجه انرژی داخلی کاهش می یابد.

تبلور مجدد:

از جمله اثرات کار سرد عبارت از تغییر شکل دانه ها در جهت اعمال نیرو و ایجاد تنشهای داخلی است. در عملیات حرارتی تبلور مجدد دانه های جدید هم محور (شکل زیر) و عاری از تنش در فلز کار سرد شده به وجود می آید. در ضمن این عملیات، تغییراتی که در اثر انجام کار سرد در خواص فیزیکی و مکانیکی به وجود آمده از بین می رود و قطعه به حالت قبل از کار سرد بر می گردد.



مراحل مختلف در تبلور مجدد یک فلز: (الف) میکروساختار فلز در شرایط کار سرد شده. (ب) یا تشکیل جوانه‌هایی از دانه‌های هم‌محور و عاری از تنش، تبلور مجدد شروع می‌شود. (ج-ه) با رشد دانه‌های بن‌دید، تبلور مجدد ادامه می‌یابد. (و) تبلور مجدد به طور کامل انجام شده است. خطوط منقطع در شکل (و) برای نشان دادن موقعیت مرز دانه‌ها در قطعه کار سرد شده است.

در حقیقت تبلور مجدد ادامه عملیات حرارتی بازیابی است و دانه های جدید عاری از تنش می توانند از دانه های فرعی حاصل از عملیات بازیابی به وجود آیند. اساساً فرآیند تبلور مجدد شامل جوانه زنی و رشد بوده که نیروی محرکه برای این عملیات ناشی از کاهش انرژی آزاد حجمی در اثر کاهش چگالی نابجایی هاست.

6- تنش گیری:

برخی از فرآیندهای عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات ایجاد تنش های داخلی می کنند که می تواند مخرب بوده و بر عملکرد این قطعات تأثیر نامطلوب گذارد. تنش های داخلی حاصل، ممکن است منجر به تاب برداشتن، ترک خوردن و یا انهدام قطعات در تنشهایی به مراتب کمتر از سطح تنش طراحی شده برای آنها شود. از جمله منابع تنش های داخلی عبارتند از:

- 1- نایکنواخت سرد شدن نقاط مختلف قطعه در ضمن کاهش دما از ناحیه آستنیت.
- 2- ماشینکاری و کار سرد از جمله منابع دیگر ایجاد تنش در فولادهاست.
- 3- جوشکاری عملیات دیگری است که ممکن است باعث ایجاد تنش های کششی در قطعه شود. برای حذف یا کاهش تنشهای باقیمانده از عملیات قبلی، قطعات مورد نظر را برای زمان مشخص در دمایی زیر دمای بحرانی A_{c1} حرارت میدهند. زمان حرارت دهی بستگی به ابعاد قطعه و دمای تنش گیری دارد. هر چه دمای تنش گیری بالاتر انتخاب شود زمان لازم برای انجام کامل عملیات کمتر است. به منظور جلوگیری از ایجاد تنش های حرارتی جدید و همچنین احتمال شکستن قطعه در ضمن عملیات حرارتی تنش گیری، معمولاً حرارت دادن به و یا سرد کردن از دمای تنش گیری باید خیلی آهسته انجام شود. این موضوع به ویژه در رابطه با قطعات حجیم و تجهیزات بزرگ جوشکاری شده صادق است.

سختی و سختی پذیری :

میکروساختار مارتنزیت سخت ترین میکروساختاری است که میتواند در یک فولاد کربنی ساده به وجود آید. تشکیل میکروساختار مارتنزیتی در صورتی امکانپذیر است که از دگرگونی آستنیت به مخلوط فریت و سمنتیت در دماهای بالا جلوگیری شود.

نکته: عملیات حرارتی جهت تشکیل مارتنزیت معمولاً بر روی فولادهایی انجام می شود که حداقل 0.3 درصد کربن داشته باشد.

سختی پذیری:

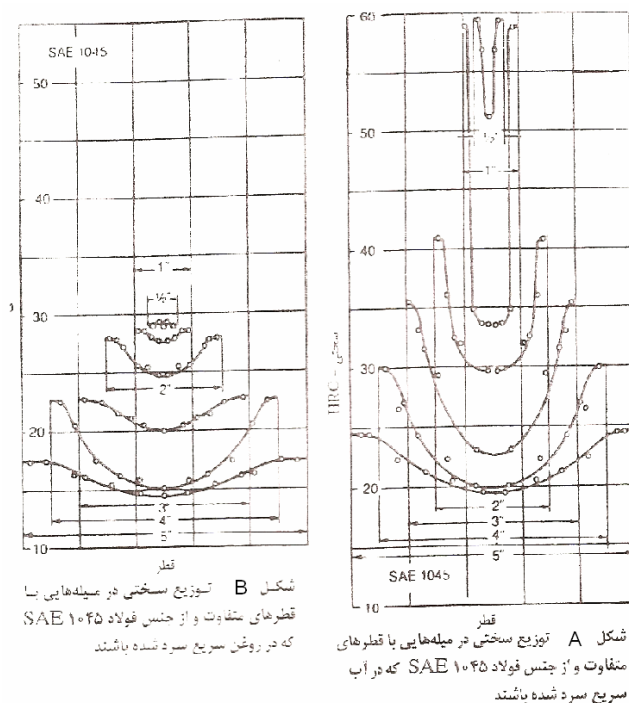
در صورتی که آهنگ سرد شدن یک فولاد از ناحیه آستنیت بیشتر آهنگ سرد شدن بحرانی (حداقل آهنگ سرد شدنی که از تشکیل پرلیتی و بینیت جلوگیری شود) باشد، سختی حاصل عمدتاً بستگی به درصد کربن فولاد دارد. اگر آهنگ سرد شدن کمتر از آهنگ سرد شدن بحرانی باشد، درصد مارتنزیت حاصل کاهش یافته و بنابراین سختی فولاد نیز کاهش می یابد.

سختی پذیری عبارت از توانایی یا قابلیت تشکیل مارتنزیت (و سخت شدن فولاد) در اثر سریع سرد شدن از ناحیه آستنیت است. سختی پذیری توسط ضخامت پوسته سخت شده مشخص می شود. ضخامت پوسته سخت شده عبارت از فاصله سطح تا محلی در داخل نمونه که دارای 50 درصد مارتنزیت باشد است.

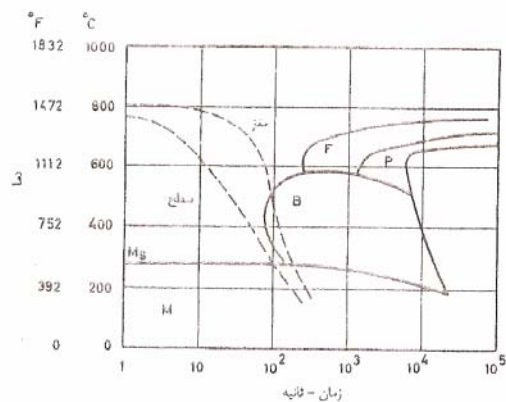
توزیع سختی در یک قطعه:

در این قسمت برای مطالعه تغییرات سختی و پارامترهای موثر بر آن در یک قطعه سریع سرد شده نتایج حاصل از آزمایشهایی در این رابطه بررسی می شود. تغییرات سختی از سطح به مرکز برای یک سری میله

های فولادی به قطرهای مختلف و از جنس فولاد کربنی ساده SAE 1045 (با ترکیب شیمیایی 0.17 Si و 0.014S و 0.022P و 0.6 Mn و 0.48C) که به ترتیب در آب و روغن سریع سرد شده باشند نشان داده شده است. در حقیقت این دوشکل اثرات قطر یا ضخامت قطعه و شدت سرد کنندگی محیط بر روی توزیع سختی فولادهای کربنی ساده را نشان می دهند. ملاحظه می شود که بدون توجه به محیط سرد کننده حداکثر سختی در هر نمونه مربوط به سطح آن می شود.



به بیان دیگر در تمامی نمونه ها سختی از سطح به طرف مرکز کاهش می یابد. دلیل اینکه چرا سطح یک فولاد سریع سرد شده سخت تر از مرکز آن است را می توان به کمک نمودار CCT توضیح داد. شکل زیر منحنی های سرد شدن سطح و مرکز میله ای به قطر 95 میلیمتر که در روغن سریع سرد شده است را نشان میدهد.



شمایی از منحنیهای سرد شدن برای سطح و مغز نمونه‌ای به قطر 0.5 میلیمتر که پس از آستنیت شدن، در روغن سریع سرد شده باشد. سطح کاملاً مارتنزیت شده، در حالی که مغز نمونه حاوی مقداری بینیت بالایی است.

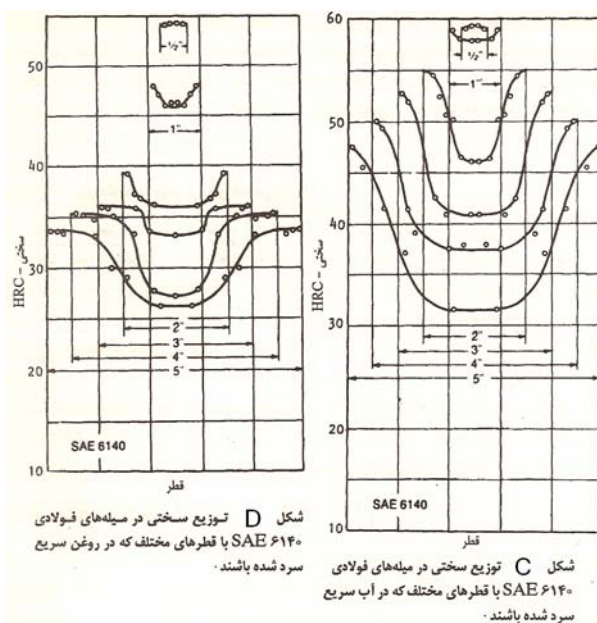
از آنجایی که آهنگ سرد شدن سطح به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از آهنگ سرد شدن مرکز است، منحنی سرد شدن سطح نمونه از سمت چپ منحنی سرد شدن بحرانی گذشته و در نتیجه در سطح فقط مارتنزیت تشکیل می شود. از طرف دیگر در مرکز نمونه که آهنگ سرد شدن کمتر است (منحنی سرد شدن آن سمت راست منحنی سرد شدن بحرانی قرار گرفته) علاوه بر مارتنزیت، مقداری بینیت نیز تشکیل شده که در نتیجه، سختی کاهش می یابد.

از مطالعه شکل‌های A و B همچنین مشخص است که:

1- با افزایش قطر یا ضخامت، سختی تمام نقاط از جمله سطح و مرکز نمونه ها کاهش می یابد، در حقیقت با افزایش ابعاد قطعه، آهنگ سرد شدن کاهش می یابد.

2- پارامتر دیگری که بر روی توزیع سختی در یک نمونه فولادی اثر دارد و از شکل‌های A و B نیز مشخص است، شدت سرد کنندگی محیط است. از آنجایی که روغن نسبت به آب، محیط سرد کننده ملایمتری است، آهنگ سرد شدن میله های مختلف در روغن به مراتب کمتر از آهنگ سرد شدن میله های مشابه در آب است.

3- از جمله پارامترهای دیگر که بر روی توزیع سختی در قطعات فولادی موثر است، عناصر آلیاژی و مقدار کمی آنها در فولادهاست. به طور کلی، عناصر آلیاژی بجز کبالت اگر به صورت محلول در آستنیت باشند سختی نقاط مختلف نمونه سریع سرد شده را افزایش می دهند. شکلهای A و B توزیع سختی در نمونه های استوانه ای فولاد آلیاژی SAE 6140 (با ترکیب شیمیایی $0.42\%C$ و $0.023\%S$ و $0.027\%P$ و Mn و $0.73\%V$ و $0.17\%Cr$) که به ترتیب در آب و روغن سریع سرد شده باشند را نشان می دهند. از مقایسه شکلهای یاد شده با شکلهای A و B نتیجه میشود که سختی نقاط مختلف نمونه های فولاد آلیاژی SAE 6140 همواره بیشتر از سختی نقطه مشابه نمونه هایی از فولاد کربنی ساده SAE 1045 که در شرایط یکسان سریع سرد شده باشند است. نقش عناصر آلیاژی به تاخیر انداختن نفوذ و در نتیجه افزایش مدت زمان لازم برای تجزیه آستنیت به مخلوط فریت و سمنتیت و بنابراین فراهم کردن امکان تشکیل مارتنزیت در آهنگهای سرد شدن کمتر است.



پارامترهای موثر بر روی سختی پذیری:

هر عاملی که باعث کاهش آهنگ جوانه زنی و رشد پرلیت شود (زمان لازم برای جوانه زنی و رشد پرلیت را افزایش دهد) سختی پذیری را در فولادها افزایش می دهد. این عوامل عبارتند از:

1- اندازه دانه های آستنیت

هر چه دانه ها ریزتر ← تشکیل پرلیت به مراتب سریعتر ← سختی پذیری کم می شود.

2- درصد کربن

هر چه درصد کربن فولاد بیشتر شود ← سختی پذیری بیشتر

3- عناصر آلیاژی

هر چه درصد عناصر آلیاژی (به جز کبالت) بیشتر شود ← سختی پذیری زیاد می شود.

4- آخال - ناخالصیهای نافلزی

هر چه ناخالصیهای نافلزی بیشتر شود ← سختی پذیری بیشتر

علت:

- ناخالصیها به عنوان محل های جوانه زنی پرلیت عمل می کنند

- آخال یا ناخالصیهای نافلزی به صورت ذرات بسیار ریز در میکرو ساختار ظاهر شده و از رشد دانه های

آستنیت جلوگیری می کند.

5- همگن بودن ساختار

هر چه میکرو ساختار همگن تر باشد سختی پذیری بیشتر است.

بازپخت :

به علت تنش های داخلی ایجاد شده در ضمن سریع سرد شدن، تقریباً تمامی قطعات سخت شده نسبتاً ترد و شکننده اند. از این رو، به ندرت فولادها پس از سریع سرد شدن و در شرایط سخت (مارتنزیت) شده استفاده می شوند، مگر در موارد استثنایی نظیر هنگامی که به سختی فوق العاده زیادی نیاز باشد و یا در رابطه با فولادهای کم کربن. معمولاً فولاد پس از سرد شدن و قبل از استفاده باید بازپخت شود. بازپخت عبارت است از حرارت دادن فولاد سخت شده تا دمایی زیر دمای A_{e1} نگه داشتن برای مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن آهسته تا دمای اتاق، دما و زمان حرارت دادن به ترکیب شیمیایی فولاد، ابعاد قطعه و خواص مکانیکی مورد نظر بستگی دارد. در اثر بازپخت تنشهای داخلی کاهش یافته و یا حذف می شوند و بنابراین استحکام ضربه ای افزایش می یابد (شکنندگی کم می شود). در عوض سختی و استحکام قطعه سخت شده تا حدودی کاهش خواهد یافت.

اثرات ناشی از تغییر ابعاد در ضمن سرد کردن:

یکی از مهمترین دلایل ایجاد تنش در اثر تغییر حجم، انقباض و انبساط نایکنواخت در نقاط مختلف قطعات است. به بیان دیگر در صورتی که انقباض ها و انبساط ها به طور یکنواخت در تمام حجم قطعه توزیع شوند (مثلاً در سریع سرد شدن که تمامی حجم قطعه همزمان مارتنزیت در نتیجه همزمان منبسط می شوند)، امکان ایجاد تنش حذف و یا به حداقل می رسد. علت همزمان منقبض و منبسط نشدن نقاط مختلف قطعه آهنگهای سرد و یا گرم شدن متفاوت در نقاط مختلف آن است. آهنگهای سرد و گرم شدن نقاط مختلف در

یک قطعه تابع اندازه و ابعاد آن و یا موقعیت نقاط در داخل نمونه است. به عنوان مثال در سرد کردن، سطوح قطعات بسیار سریع سرد شده و به دمای اتاق می رسد در حالی که ناحیه مرکزی هنوز گرم بوده و با آهنگ بسیار کمتری سرد خواهد شد. تفاوت آهنگهای سرد شدن سطح و مغز و در نتیجه اختلاف دمای سطح و مغز در هر لحظه با افزایش ابعاد قطعه و یا افزایش شدت سردکنندگی افزایش می یابد.

روشهای سرد کردن کنترل شده:

روش سرد کردن که به منظور سخت کردن یک فولاد استفاده می شود به نوع فولاد، شکل قطعه، ابعاد قطعه و خواص مکانیکی مورد نظر پس از عملیات حرارتی بستگی دارد. به طور کلی سه روش سرد کردن برای سخت کردن فولادها وجود دارد که عبارتند از:

1-سریع سرد کردن مستقیم

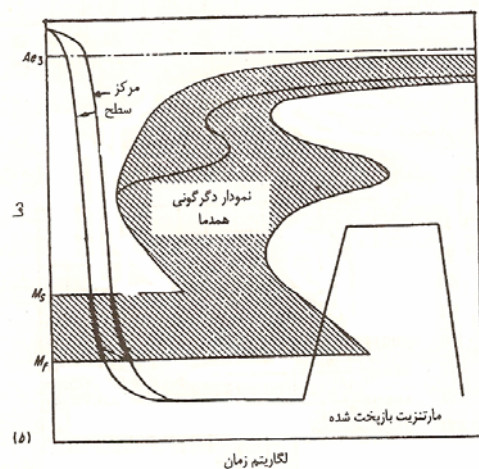
2-مارتمپرینگ

3-آستمپرینگ

1-سریع سرد کردن مستقیم

همانگونه که در بخش های پیشین به طور مفصل بحث شد، در روش اول که مستلزم سریع سرد شدن فولاد از دمای آستنیت شده تا زیر دمای M_f است (شکل زیر)، سطح و مرکز قطعه با آهنگهای متفاوت سرد شده و بنابراین تشکیل مارتنزیت به طور همزمان در نواحی فوق انجام نمی شود. این پدیده منجر به ایجاد تنش

های داخلی در قطعه شده و نهایتاً می تواند قطعه را شکسته یا تغییر شکل دهد. تحت شرایط خاصی، می توان از روشهای دوم و سوم به جای روش اول استفاده کرد و در نتیجه از اثرات زیان آور تنش های داخلی جلوگیری نمود.



شمایی از عملیات حرارتی سریع سرد کردن یک مرحله‌ای (سریع سرد کردن مستقیم) منطبق بر نمودار TTT فولاد با کربن متوسط

2- مارتمپرینگ

عملیات حرارتی مارتمپرینگ یا سریع سرد کردن ناپیوسته که آن را مارکوئنچینگ نیز می نامند شامل مراحل زیر است:

1- آستنیته کردن فولاد

2- سریع سرد کردن فولاد در روغن داغ و یا نمک مذاب تا دمایی درست بالاتر (و یا درست

پائینتر) از دمای شروع تشکیل مازنیت (Ms). سریع سرد کردن در این مرحله باید به نحوی

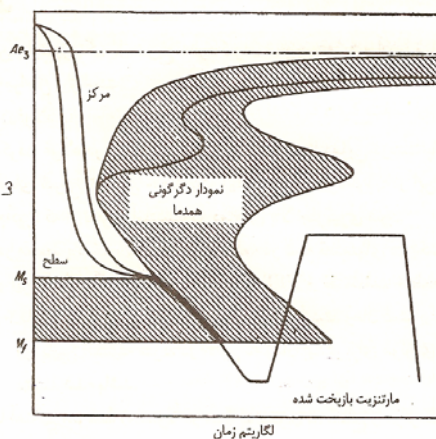
انجام گیرد که از تجزیه آستنیت در دماهای بالا جلوگیری گردد.

3- نگه داشتن در محیط یاد شده تا اینکه دمای قطعه در تمام قسمت‌های آن یکنواخت شود. زمان نگهداری در این دما معمولاً بین 2 تا 4 دقیقه برای هر 10 میلیمتر ضخامت است. زمان کمتر برای حالتی است که فولاد در دماهای پایین آستنیت‌ه شده، درحالی که زمان بیشتر برای مواردی است که فولاد در دماهای بالا آستنیت‌ه شده باشد.

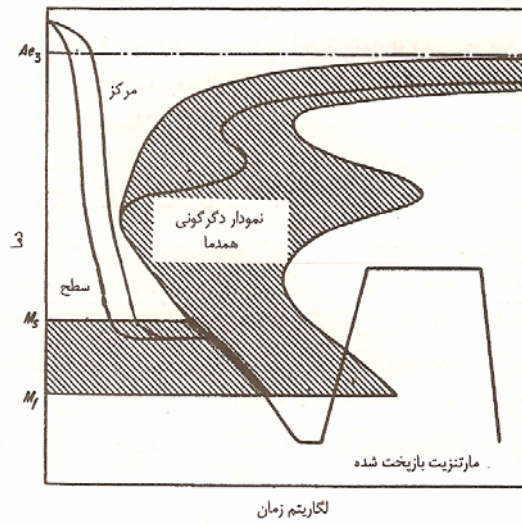
4- سرد کردن با آهنگری متوسط (معمولاً در هوا) به نحوی که سطح و مرکز تقریباً همزمان سرد شده و به مارتنزیت تبدیل شوند.

5- باز پخت دادن قطعه به منظور افزایش چقرمگی.

شکل‌های الف و ب ، شمایی از مراحل مختلف مارتمپرینگ را بر روی نمودار TTT نشان میدهند.



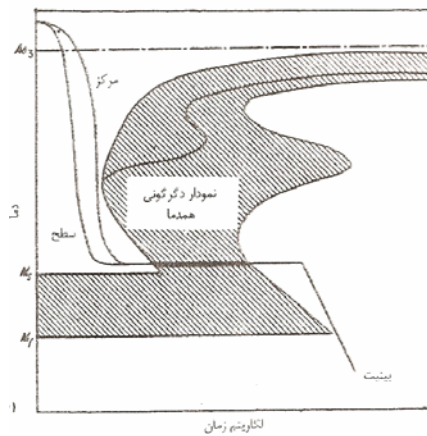
شکل الف شمایی از عملیات حرارتی مارتمپرینگ همراه با نمودار TTT برای یک فولاد با کربن متوسط.



شکل ب شمایی از عملیات حرارتی مار تمپرینگ اصلاح شده همراه با نمودار TTT برای یک فولاد با کربن متوسط .

3-آستمپرینگ:

روش دیگری که به منظور کاهش تنشهای حاصل در ضمن سخت کردن فولادهای کربنی ساده (پرکربن) جانشین سریع سرد کردن مستقیم می شود. (شکل زیر)



آستمپرینگ شامل مراحل زیر است:

1- آستنیته کردن فولاد

2- سریع سردکردن در حمام نمک مذاب یا روغن داغ تا دمایی بلافاصله قبل از دمای شروع تشکیل مارتنزیت (M_s)

3- نگهداشتن در این دما به نحوی که دگرگونی آستنیت به بینیت به طور کامل انجام گیرد. زمان نگهداری در این دما با توجه به موقعیت نمودار IT مشخص می شود.

4- سرد کردن در هوا تا دمای اتاق

برای عملیات حرارتی مقاطع نازک فولادهای کربنی ساده تحت شرایطی که سختی 50 راکول سی کافی بوده و استحکام ضربه و انعطاف پذیری بسیار خوبی مورد نیاز باشد، آستمپرینگ بهترین روش عملیات حرارتی است.

سخت کردن سطحی:

در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به قطعاتی است که دارای سطحی سخت بوده و در عین حال از چقرمگی یا مقاومت به ضربه خوبی نیز برخوردار باشند. از جمله مواردی که می توان در این رابطه به عنوان مثال به آنها اشاره کرد عبارتند از میل لنگ، میل بادامک، چرخ دنده و قطعات مشابه. این قطعات باید سطحی بسیار سخت و مقاوم در برابر سایش داشته و همچنین بسیار چقرمه و مقاوم در برابر ضربه های وارده در حین کار باشند.

عملیات سخت کاری آخرین عملیاتی است که باید در مرحله پایانی ساخت قطعه و پس از انجام تمام مراحل مربوط به شکل دهی نظیر ماشینکاری و غیره انجام شود.

روشهای مختلف عملیات حرارتی که به کمک آنها می توان سطح قطعات را سخت کرد عمدتاً به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول عملیاتی که منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد می شوند و به عملیات حرارتی- شیمیایی یا عملیات ترموشیمی موسومند نظیر کربن دهی، نیتروژن دهی و کربن نیتروژن دهی. دسته دوم روشهایی که بدون تغییر ترکیب شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی که در لایه سطحی متمرکز شده و باعث سخت شدن سطح می شوند و به عملیات حرارتی موضعی موسوم اند، مانند سخت کردن شعله ای و سخت کردن القایی.

1- کربن دهی:

هنگامی که یک قطعه فولاد کم کربن (مثلاً 0.15٪) در مواد کربن ده مانند ذغال قرار گرفته و در دمایی بالا نظیر 925 درجه سانتیگراد حرارت داده شود کربن اتمی از ماده کربن ده آزاد شده و به داخل سطح قطعه نفوذ می کند. گرچه این عملیات نیاز به زمان دارد ولی در مدت چند ساعت سطح قطعه می تواند مقدار قابل ملاحظه ای کربن (تا 1.2 درصد) جذب کند. به این ترتیب قطعه ای ساخته می شود که مغز آن را فولاد کم کربن و سطح آن را فولاد پرکربن تشکیل میدهد. اگر این قطعه سخت شود، در سطح ماتنریت پرکربن تشکیل می شود و بنابراین از سختی زیادی برخوردار خواهد بود.

عمق نفوذ کربن بر حسب فاصله از سطح :

$$\frac{C_C - C_S}{C_C - C_0} = \text{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

این رابطه تعیین کننده x : عمق سخت شده (عمق نفوذ) برحسب t زمان و D ضریب نفوذ کربن در فلز و

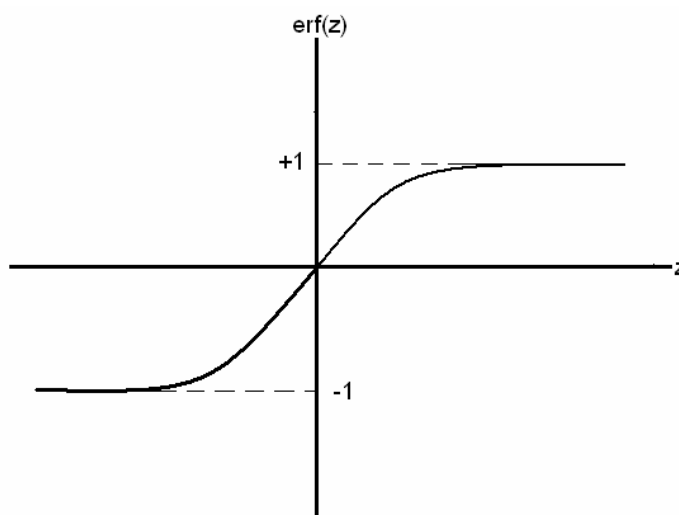
C_C ، غلظت در زمان خاص در هر مکان یا در یک مکان خاص در هر زمانی می باشد، C_S : غلظت کربن در

سطح که توسط پتانسیل کربن دهی محیط مشخص می شود و C_0 : درصد کربن اولیه که قبل از کربن دهی

$$erf(z) = \frac{2}{\pi} \int_0^z \exp(-y^2) dy$$

تعریف :

(شکل کلی نمودار $erf(Z)$ بر حسب Z در دیاگرام زیر مشاهده می شود)



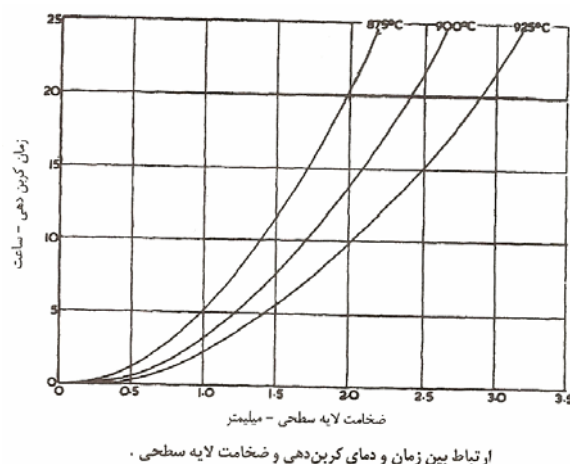
محاسبه انتگرال فوق پیچیده می باشد لذا مقادیر عددی آن در جداول ریاضی موجود است

Erf(z)	Z
-1	$-\infty$
+1	$+\infty$
0	0
≈ 0.2	0.2
≈ 0.4	0.4
0.5	0.5
≈ 0.5	0.6
0.84	1
0.95	2

$Erf(z) \approx z$ for $x=0.2 - 0.6$
 $erf(x) = x$

کربن دهی پودری (جامد)

در این روش قطعات مورد نظر همراه با مواد کربن ده که اغلب ذغال چوب و یک ماده انرژی زا است را در یک جعبه فولادی (Ni 20٪ - C 25٪) که از جنس فولاد نسوز است به نحوی بسته بندی می کنند که فاصله بین قطعات در حدود 50 mm باشد. سپس در جعبه را به نحوی می بندند که هیچ گونه تبادل هوا با خارج نداشته باشد. این جعبه را تا دمای کربن دهی که اغلب بین 875 تا 925 درجه سانتیگراد است حرارت داده و برای مدت زمان مشخص در این دما نگه می دارند. زمان نگهداری در دمای کربن دهی بستگی به ضخامت لایه سطحی مورد نیاز دارد. شکل زیر ارتباط بین دما و زمان کربن دهی و عمق نفوذ کربن را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود با افزایش دما و یا زمان کربن دهی ضخامت لایه سطحی نیز افزایش می یابد.



کربن دهی مایع:

کربن دهی مایع در مذاب مخلوط نمک های سیانید سدیم NaCN (20 تا 50 درصد)، کربنات سدیم (40 درصد) و مقادیر متنابهی از کلرید سدیم و یا کلرید باریم انجام می شود. این مخلوط غنی از سیانید را در بوته هایی با پوشش شیمیایی آلومینیوم (آلومینیوم کاری شده) ذوب کرده و در دمایی بین 870 تا 950 درجه سانتیگراد نگه می دارند. قطعات مورد نظر برای کربن دهی را در سبدهای فلزی ریخته و یا توسط سیمهای فلزی به طور معلق در مذاب فوق برای مدت زمانی در حدود 5 دقیقه تا یک ساعت نگه می دارند. زمان کربن دهی بستگی به عمق نفوذ مورد نظر دارد. پس از پایان عملیات، سبد حاوی قطعات کربن داده شده را در آب و یا روغن فرو می برند. کربن دهی مایع را معمولاً برای قطعات کوچک که نیاز به ضخامت لایه سطحی کمی داشته باشند به کار می برند. از آنجاییکه ظرفیت حرارتی نمک مذاب بالا بوده و انتقال حرارت از مایع به قطعه سریع است، این روش نسبت به کربن دهی پودری سریعتر و اقتصادی تر است.

تذکر: نمکهای سیانید و بخارات حاصل از مذاب آنها بسیار سمی بوده و هنگام کار کردن با آنها باید تمام نکات ایمنی مربوطه به کار گرفته شوند.

کربن دهی گازی:

کربن دهی گازی که نسبت به روشهای پودری و مایع از قدمت کمتری برخوردار است، به عنوان اقتصادی ترین و سریعترین روش کربن دهی برای تولید انبوه شناخته شده است. تحت شرائطی که ضخامت لایه سطحی کربن داده شده نسبتاً کمی مورد نظر باشد، این مزیت بسیار حائز اهمیت است. به علاوه در این روش کربن سطح را بسیار دقیقتر و ساده تر از روشهای دیگر می توان کنترل کرد.

در کربن دهی گازی قطعات کار را در 900 درجه سانتیگراد برای مدت 3 تا 4 ساعت در محیطی که شامل گاز یا گازهایی باشد که بتواند در سطح فولاد تجزیه شده و تولید کربن اتمی کند حرارت می دهند. این محیط معمولاً از هیدروکربنها نظیر متان (گاز طبیعی)، اتان (CH_4) و یا پروپان (C_3H_8) تشکیل شده است که به طور جزئی در کوره سوخته شده و یا اینکه با یک گاز رقیق کننده موسوم به گاز حامل مخلوط شده باشد. سوختن ناقص و یا استفاده از گاز حامل به منظور حصول پتانسیل کربن مورد نظر در سطح فولاد است. گازهای حامل که از نوع گرماگیر (اندوترمیک) می باشند، در یک مولد مجزا تهیه شده و معمولاً شامل مخلوطی از نیتروژن هیدروژن و منواکسید کربن اند.

2- نیتروژن دهی:

نیتروژن دهی عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد. بنابراین سختی سطح در این روش بستگی به نیتريد فلزی تشکیل شده دارد.

در حالی که امکان نیتروژن دهی برای بسیاری از فولادها وجود دارد، تنها هنگامی می توان سختی زیاد در سطح به دست آورد که قطعه مورد نظر از جنس فولادهای آلیاژی مخصوص، شامل عناصر آلیاژی نظیر

آلومینیوم، کرم، مولیبدن و یا وانادیوم باشد. این عناصر در سطح قطعه به محض تماس پیدا کردن با نیتروژن اتمی با آن ترکیب شده و تشکیل نیتrideهای پایدار و سخت می دهند.

نیتروژن با برخی از عناصر آلیاژی ترکیب شده و تشکیل نیتride آلیاژی می دهند، مانند نیتrideهای کرم (CrN, Cr₂N) نیتride تیتانیم (TiN)، نیتride آلومینیوم (AlN) و نیتrideهای دیگر.

به طور کلی عناصر گروه انتقالی (آهن، کرم، منگنز، وانادیوم، تنگستن، مولیبدن و تیتانیم) با نیتروژن ترکیب شده و تشکیل نیتride می دهند. در حقیقت سختی زیاد لایه سطحی فولادهای نیتروژن داده شده ناشی از وجود همین ذرات بسیار ریز و پراکنده نیتrideهای آلیاژی است.

تفاوت عملیات نیتروژن دهی و کربن دهی:

- در حالی که کربن دهی باید در گستره دمایی پایداری آستنیت (875 C° تا 925 C°) انجام شود، نیتروژن دهی را می توان در گستره دمایی پایداری فریت (550 C° تا 650 C°) انجام داد.

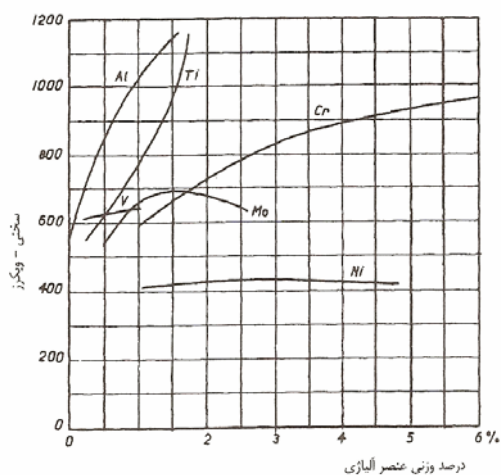
- پس از نیتروژن دهی نیازی به سریع سرد کردن قطعه نیست. معمولاً قطعات نیتروژن داده شده را پس از پایان عملیات و از دمای نیتروژن دهی در هوا سرد می کنند.

در این حالت نیتrideهای آلیاژی که عامل اصلی سختی اند نیز به صورت ذرات بسیار ریز و پراکنده در ساختار لایه سطحی وجود دارند.

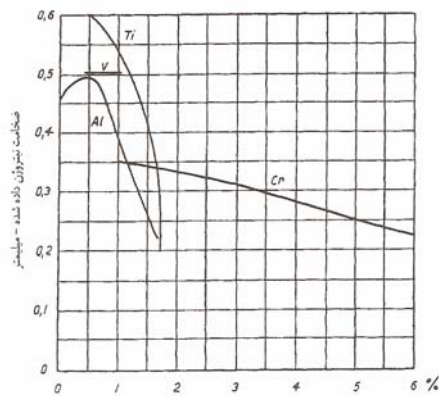
اگر فولادهای کربن ساده نیتروژن دهی شوند سختی سطح در حد متوسط (در حدود 400 HV) افزایش می یابد. دلیل موضوع این است که در دمای نیتروژن دهی، نیتروژن نسبتاً سریع به داخل فولاد نفوذ کرده و

تشکیل Fe_3N و گاهی Fe_4N می دهد. از آنجایی که نیتrideهای یاد شده در عمق نسبتاً زیادی پراکنده

می شوند، سختی سطح را نمی توانند در حد زیادی افزایش دهند. آلومینیوم و تا حدودی کرم، وانادیوم و مولیبدن میل ترکیبی زیادی با نیتروژن دارند، بنابراین از نفوذ آن به داخل قطعه جلوگیری کرده و تشکیل یک لایه نسبتاً نازک پایدار (تا حداکثر 1mm) و سخت نیتریدی بر روی سطح قطعه می دهند. با افزایش درصد این عناصر آلیاژی سختی سطح نیتروژن داده شده افزایش یافته (شکل 1) در حالی که ضخامت لایه نیتروژن داده شده کاهش می یابد (شکل 2) از آنجایی که نیتريد کرم در مقایسه با نیتريد آلومینیوم تا عمق بیشتری تشکیل می شود، وجود این عنصر آلیاژی باعث جلوگیری از تغییر سریع ترکیب شیمیایی و افت ناگهانی سختی از پوسته سخت شده به مغز سخت نشده می شود و بنابراین احتمال پوسته شدن سطح را کاهش می دهد. مولیبدن علاوه بر مشارکت در سخت کردن سطح باعث افزایش چقرمگی مغز قطعه نیز می شود.



شکل ۱ تأثیر عناصر آلیاژی بر روی سختی پس از نیتروژن دهی. آلیاژ اولیه حاوی ۰.۳۵ C ، ۰.۳ Si و ۰.۷ Mn بوده است.



درصد وزنی عناصر آلیاژی
 شکل ۲ تأثیر عناصر آلیاژی بر روی ضخامت لایه نیتروژن داده شده. زمان و دمای عملیات به ترتیب ۸ ساعت و ۵۲۰ درجه سانتیگراد. ضخامت لایه نیتروژن داده شده عبارت است از فاصله سطح تا محلی که سختی ۴۰۰ ویکرز باشد.

برای نیتروژن دهی موضعی، مناطقی که نیاز به نیتروژن دهی نداشته باشند را توسط مخلوطی از سیلیکات سدیم و پودر گچ پوشش می دهند.

3- کربن نیتروژن دهی، نیتروژن کربن دهی:

کربن- نیتروژن دهی عملیات سخت کردن سطحی است که در آن نیتروژن و کربن هر دو جذب سطح فولاد می شوند و به این ترتیب نیتروژن جذب شده، سختی سطح کربن داده شده را بیشتر افزایش می دهد. عملیات کربن نیتروژن دهی معمولاً در گستره دمایی 800 تا 875 درجه سانتیگراد و در محیطی از مخلوط منواکسید کربن و هیدروکربن شامل 3 تا 8 درصد آمونیاک انجام می شود. درصد کربن و نیتروژن جذب شده توسط فولاد را می توان با کنترل دما و غلظت آمونیاک تغییر داد.

برای انحلال سریع کربن در فولاد، قطعه کار باید در شرایط آستنیتی باشد که این شرایط برای انحلال نیتروژن مناسب نیست زیرا نرخ انحلال نیتروژن در آستنیت تقریباً 50 برابر کمتر از نرخ انحلال آن در فریت است. ولی در صورتی که دمای عملیات زیر 900 درجه حفظ شود مقدار نسبتاً قابل ملاحظه ای نیتروژن در آستنیت حل خواهد شد.

به طور خلاصه، کربن - نیتروژن دهی در مقایسه با نیتروژن دهی یا کربن دهی تنها، سختی پذیری و مقاومت به سایش را بیشتر افزایش می دهد. در صورتی که عملیات کربن و نیتروژن دهی همزمان در گستره دمایی نیتروژن دهی (یعنی بین 500 تا 650 درجه سانتیگراد) انجام شود، اصطلاحاً به آن نیتروژن - کربن دهی می گویند. در این روش سطح قطعه عمدتاً نیتروژن داده شده ولی چون مقداری کربن نیز جذب می شود سختی قطعه بیشتر از حالتی است که آن را فقط نیتروژن داده باشند.

4- سخت کردن سطحی به کمک عملیات حرارتی موضعی:

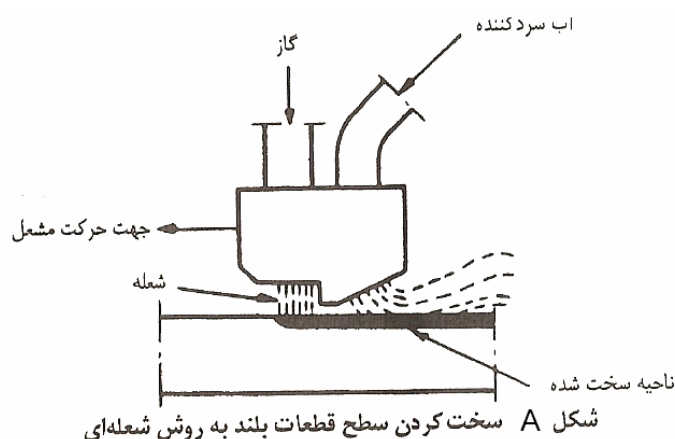
در این روش مغز و سطح قطعه دارای ترکیب شیمیایی یکسان بوده و تنها عملیات حرارتی سخت کردن است که در سطح متمرکز می شود. از آنجایی که سطح باید کربن کافی جهت سخت شدن داشته باشد، این عملیات معمولاً بر روی فولادهای کربنی که شامل 0.35 تا 0.5 درصد کربن داشته باشند اعمال می شود. همچنین فولادهای کم آلیاژ که دارای حداکثر 1 درصد کرم و در حدود 0.25 درصد مولیبدن و 0.5 درصد نیکل باشند را نیز از این روش سختی سطحی می کنند. در این روش تنشهای فشاری حاصل از مارتنزیت شدن لایه سطحی استحکام خستگی قطعه را نیز افزایش می دهد.

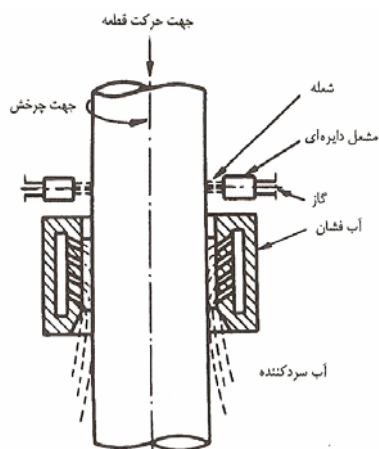
برای بدست آوردن ساختار و خواص مکانیکی مناسب (چقرمگی خوب) در مغز قطعاتی که باید به روش عملیات حرارتی موضعی سخت شوند، ابتدا آنها را مارتنزیت کرده و باز پخت می دهند و یا نرماله می کنند، سپس با حرارت دادن موضعی، سطح قطعات را آستینته و بلافاصله سریع سرد می کنند. بنابراین در حالی که درصد کربن قطعه در تمام نقاط ثابت و در حدود 0.4 درصد است، مغز قطعه مارتنزیت بازپخت شده و یا مخلوطی از فریت و پرلیت با چقرمگی خوب بوده و سطح آن از مارتنزیت با سختی نسبتاً بالا تشکیل شده

است. سطح و مغز در این قطعات معمولاً توسط یک لایه بینیتی از یکدیگر جدا شده و به این ترتیب احتمال پوسته شدن به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. عملیات سخت کردن سطح به کمک حرارت دادن موضعی به دو روش امکانپذیر است، یکی سخت کردن شعله ای و دیگری سخت کردن القایی.

سخت کردن شعله ای:

در این روش سطح قطعه به کمک یک شعله گازی حرارت داده شده و پس از آستینته شدن بلافاصله سریع سرد می شود. شعله مورد نیاز در این روش را می توان از طریق مشعل اکسیژن و یک گاز قابل احتراق مانند استیلن، پروپان و یا گاز طبیعی تهیه نمود. قطعات کوچک و یا نواحی موضعی مانند لبه ابزار برش و یا انتهای آچارها را می توان به کمک شعله دستی حرارت داده و سپس تمام قطعه را در آب سریع سرد کرد. برای سخت کردن قطعات بزرگ و یا سطوح زیاد می توان از دستگاههای خودکار که در آنها شعله و یک آب فشان تعبیه شده اند، استفاده کرد. دو نوع مختلف از این دستگاه ها در شکلهای A و B نشان داده شده است.





شکل B سخت کردن سطحی قطعات استوانه‌ای به روش شعله‌ای .

در شکل A مشعل با سرعت مناسبی بر روی سطح قطعه به نحوی حرکت می کند که تا عمق مشخصی از آنرا آستنیته کرده و به همراه آن آب فشان ناحیه آستنیته شده را سریع سرد کند. قطعات با شکلهای متقارن مانند میله های استوانه ای شکل را می توان در داخل یک مشعل حلقه ای شکل و یا تعدادی مشعل معمولی با حرکت دورانی و انتقالی ابتدا آستنیته کرده و سپس توسط آب فشان که به دنبال مشعل و در فاصله نزدیکی از آن در حال حرکت است سریع سرد کرد (شکل B)

از جمله معایب عمده سخت کردن شعله ای، اکسایش سطح و یا کاهش درصد کربن سطح قطعه است. این امر ناشی از تماس مستقیم قطعه گرم شده با اکسیژن هواست. به علاوه، نوع شعله نیز در این رابطه دخالت دارد. با استفاده از شعله های اکسید کننده ضعیف و یا احیا کننده، این عیب را تا حدودی می توان کاهش داد و یا حتی حذف کرد.

سخت کردن القایی:

اصول این روش شبیه به سخت کردن شعله ای است. به این صورت که تنها سطح قطعه آستینته شده و سپس سریع سرد می شوند. اما در این روش حرارت دادن سطح به کمک یک سیم پیچ هادی که از آن جریان متناوب با فرکانس زیاد (در محدوده 2 تا 50 کیلوهرتز) عبور می کند، انجام می شود. سختی و ضخامت پوسته آستینته شده بستگی به فرکانس جریان دارد. هر چه فرکانس جریان بیشتر باشد، عمق نفوذ جریان و بنابراین ضخامت پوسته سخت شده کمتر خواهد بود.

ارتباط ضخامت پوسته سخت شده و فرکانس جریان به صورت زیر است.

$$\delta = 5.03 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu F}}$$

δ

عمق نفوذ جریان = ضخامت پوسته آستینته و بنابراین سخت شده C_m

ρ

: مقاومت الکتریکی سیم پیچ ohm-Cm

μ

نفوذ پذیری مغناطیسی $G_s / ^\circ C$

F: فرکانس جریان HZ

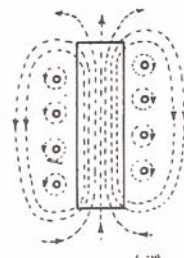
هنگامی که یک جریان الکتریکی از یک سیم پیچ هادی عبور کند، یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ به وجود می آید (شکل Cالف) حال اگر یک میله فولادی به داخل میدان مغناطیسی سیم پیچ وارد

شود، یک سری خطوط جریان مغناطیسی از آن عبور می کند از آنجائیکه خطوط جریان مغناطیسی توسط یک جریان متناوب با فرکانس بسیار زیاد به وجود می آیند، در لایه های سطحی میله فولادی جریانهای فوکو به وجود آمده که نهایتاً منجر به گرم شدن آن می شود. از آنجائیکه سیم پیچ مسی در اثر تشعشع حاصل از قطعه کار، گرم می شود اغلب برای ساخت آن از لوله های مسی استفاده می شود و با عبور آب از داخل لوله، آنرا سرد می کنند (شکل C ب)

به مجرد اینکه سطح قطعه به دمای مورد نظر رسید با انداختن آن در مخزن آب و یا پایین آوردن و قرار دادن آن در بین آب فشانه آن را بلافاصله سریع سرد می کنند، محورها و قطعات مشابه دیگر که دارای شکلهای متقارن اند را توسط دستگاههای خودکار که از یک سیم پیچ هادی در یک سمت و یک آب فشان در انتهای دیگر (شکل C ج) تشکیل شده اند به طور پیوسته سخت می کنند. در این حالت به منظور اطمینان از گرم شدن یکنواخت، قطعه کار در ضمن حرکت انتقالی یک حرکت دورانی هم دارد. سخت کردن سطحی موضعی به روش القایی را توسط هادیهای مناسب با شکل قطعه، (شکل C د) می توان انجام داد. در این حالت معمولاً قطعه پس از آستینته شدن در هوا سرد می شود. در این روش به راحتی می توان سختی 60 را کول C را در برخی از فولادها تا عمق 3 میلیمتر تولید کرد.



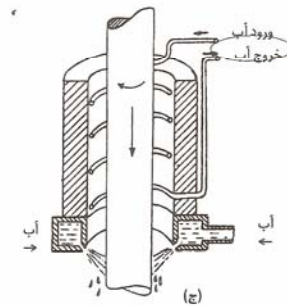
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل C اصول سخت کردن القایی. (الف) میدان مغناطیسی به وجود آمده در اثر عبور جریان متناوب از سیم‌پیچ، (ب) سیم‌پیچ مناسب برای سخت کردن سطوح خارجی قطعات استوانه‌ای، (ج) مجموعه سیم‌پیچ جهت گرم کردن و آب جهت سرد کردن، (د) سیم‌پیچ مناسب یا توجه به شکل قطعه باید ساخته و استفاده شود.

تست‌های پایانی

تست (در سیستم مکعبی زاویه بین دو جهت $[110]$ و $[\bar{1}\bar{1}1]$ چند درجه است ؟

35.2 (1)

65.9 (2)

90 (3)

120 (4)

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$\cos \phi = \frac{hh' + kk' + ll'}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \sqrt{h'^2 + k'^2 + l'^2}} \Rightarrow \cos \phi = \frac{1 + 0 - 1}{\sqrt{2 \times 3}} = 0$$

تست (کدام گزینه ذیل صحیح است ؟ انجام کار سرد بر روی یک فلز باعث میشود که ...

(1) سختی و حرکت نابجایی ها در فلز افزایش یابد

(2) استحکام تسلیم و قابلیت انعطاف (Ductility) آن افزایش یابد

(3) چگالی نابجایی ها و مدول الاستیک فلز کاهش پیدا کنند

(4) قابلیت انعطاف و حرکت نابجاییها در آن کاهش یابد

پاسخ: (4) صحیح است.

تست) قانون گریفیث در پیش بینی تنش لازم برای شکست :

(1) در تمام مواد دقیق عمل می کند

(2) مواد ترد دقیقتر از مواد نرم عمل می کنند

(3) مواد نرم دقیقتر از مواد ترد عمل می کنند

(4) برای تمام مواد دقت کمی دارد

پاسخ: (2) صحیح است.

تغییر از نوع دوقلویی است چون با صیقلی کردن از بین نمی رود.

تست) در یک تک بلور از جنس فلزی با شبکه کریستالی منشور فشرده (hcp) تغییر شکلی انجام

گرفته است که اثر آن پس از صیقلی کردن سطح قطعه همچنان بوسیله میکروسکوپ قابل مشاهده

است. این تغییر شکل در کدام سیستم ممکن است رخ بدهد؟

$$[\bar{1}\bar{1}20](0001) \quad (2)$$

$$[10\bar{1}\bar{1}](10\bar{1}2) \quad (1)$$

$$[11\bar{2}\bar{0}](0001) \quad (4)$$

$$[20\bar{1}\bar{1}](0100) \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

تست) پدیده خستگی در فلزات بخاطر کدام عامل است ؟

1) اعمال نیروی متناوب

2) اعمال نیرو ثابت در دمای بالا

3) افزایش کرنش در فلز با گذشت زمان

4) سرد کردن سریع فلز به دمای زیر صفر درجه سانتیگراد

پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

تست) فولاد ها پیرپروتکتوئید با بیش از 0.9 درصد کربن پس از آستنیت شدن در دمایی بالاتر از دمای

A_{cm} با سرعت نسبتاً زیادی سرد می گردد این فولاد متعاقباً :

1) سختی و استحکام کششی آن افزایش می یابد

2) سختی و انرژی ضربه ای آن افزایش می یابد

3) سختی آن افزایش می یابد ولی استحکام کششی آن کاهش می یابد

4) انعطاف پذیری و انرژی ضربه ای آن افزایش می یابد

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.



تست) محدوده دمایی عملیات آنیل تابکاری کدام است؟

1) محدوده دمایی 1000-1200 درجه سانتیگراد

2) در دمایی نزدیک خط A_1

3) 50-100 درجه سانتیگراد بالای خط A_3 در فولادهای هیپو و $+50^\circ\text{C}$ بالای خط A_{cm}

در فولادهای هایپروتکتوئید

4) 25-50 درجه سانتیگراد بالای خط A_3 در فولادهای هیپو و بالای خط A_1 در

فولادهای هایپروتکتوئید

پاسخ: گزینه (4) صحیح است



تست) دمای انجماد فلز مس خالص 1085 درجه سانتیگراد است. تحت انجماد لازم برای جوانه زنی

همگن را حدس بزنید.

490°C (4

372°C (3

272°C (2

217°C (1

پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

$$T_m = 1083 + 273 = 1358 \text{ K}$$

$$\Delta T_r = 0.2 T_m = 272 \text{ K}$$

تست (در یک سیستم آلیاژ دوتایی به هنگام گرم کردن ، یک فاز جامد و یک فاز مایع در یکدیگر ادغام شده و تبدیل به یک فاز جامد دیگر می شوند. نام این واکنش چیست؟

(2) پریتکتوئید

(1) پریتکتیک

(4) متاتکتیک

(3) مونوتکتیک

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست (در کدام ماده ، جاهای خالی دارای بار الکتریکی است؟

CsBr (2

Brass (1

PVC (4

Ni (3

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) در یک نمونه فلزی ، کدام یک رابطه بین استحکام تسلیم را بصورت تابعی از اندازه دانه نشان می دهد؟

$$\sigma_y = \sigma_o + kd^{-2} \quad (2) \qquad \sigma_o = \sigma_y + kd^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\sigma_y = \sigma_o + kd^{-\frac{1}{2}} \quad (4) \qquad \sigma_y = \sigma_o + kd^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (4) صحیح است



تست) عدد همسایگی برای کریستالهای با شبکه مکعب ساده برابر است با :

- 4 (1) 6 (2) 8 (3) 12 (4)

پاسخ: گزینه (2) صحیح است



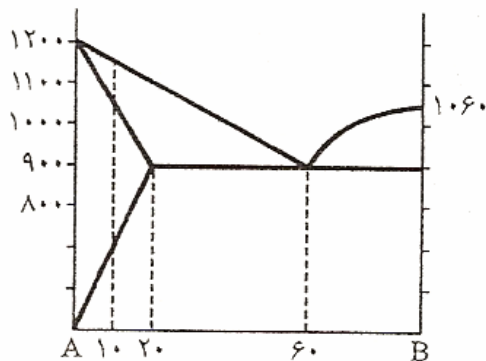
تست) کدام واکنش تغییر ناپذیر ، منجر به تشکیل یک فاز جامد و یک فاز مایع میشود؟

- (1) پریتکتیک (2) واکنشی در نقطه انطباقی ماکزیمم
(3) یوتکتیک (4) منوتکتیک

پاسخ: گزینه (4) صحیح است



تست (در نمودار زیر ، دامنه انجماد آلیاژ با 10 درصد عنصر B را تعیین کنید.



(1) حدود 100 درجه سانتیگراد

(2) حدود 150 درجه سانتیگراد

(3) حدود 180 درجه سانتیگراد

(4) حدود 300 درجه سانتیگراد

پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

$$\Delta \cong 1180 - 1080 \cong 100^{\circ}C$$

تست (در سیستم مکعب فاصله مختصات (110) برابر است با:

$$a\sqrt{2} \quad (1) \quad a$$

$$\frac{a\sqrt{3}}{3} \quad (4) \quad \frac{a\sqrt{2}}{2} \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{a}{\sqrt{2}} = \frac{a\sqrt{2}}{2}$$

تست (ثابت شبکه ای هر سلول واحد در ساختار بلوری آلومینیوم 0.4049nm است. مقدار d_{200} آن را حساب کنید.

0.81nm (2) 0.2024nm (1)

1.2nm (4) 0.1431nm (3)

پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{0.4049}{\sqrt{4}} = 0.2024\text{nm}$$

تست (چرا اتمها برای نفوذ در آهن bcc نفوذ پذیری بیشتری دارند تا در آهن fcc؟

(1) راه عبور بین حفره ای fcc کوچکتر از ساختار bcc است.

(2) ضریب فشردگی اتمی آهن fcc کمتر است.

(3) ضریب فشردگی اتمی آهن bcc کمتر است.

4) حفره های بین نشینی fcc کوچکتر است.

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست (میزان فشردگی (Packing factor) شبکه آهن در دمای محیط چند درصد است؟

74 (4) 70 (3) 68 (2) 52 (1)

پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

T = Room Temperature

B.C.C

$$\sqrt{3}a = 4R \Rightarrow a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

$$n = 2$$

$$P.F = \frac{2 \left[\frac{4}{3} \pi R^3 \right]}{\left[\frac{4R}{\sqrt{3}} \right]^3} = 0.68$$

تست (نیروی محرکه تبلور مجدد در فلزات برابر است با:

(1) انرژی ذخیره شده ناشی از کار سرد در جسم

(2) افزایش اندازه دانه ها در اثر پدیده رشد بلورها

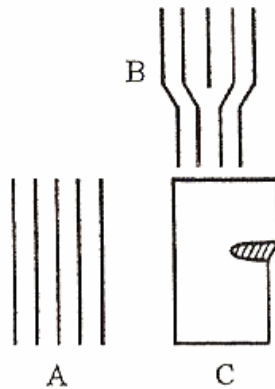
(3) افزایش انرژی مرز دانه ها

(4) کاهش انرژی مرز دانه ها

پاسخ: گزینه (1) صحیح است



تست) کدام گزینه درباره شکل مقابل صحیح است؟



Edge Dislocation = نابجایی لبه ای

Screw Dislocation = نابجایی پیچی

(1) صفحات اتمی کامل = A، نابجایی پیچی = B، نابجایی لبه ای = C

(2) صفحات اتمی کامل = A، نابجایی لبه ای = B، نابجایی پیچی = C

(3) نابجایی لبه ای $A=$ ، صفحات اتمی ناقص $B=$ ، نابجایی پیچی $C=$

(4) صفحات اتمی کامل $A=$ ، صفحات اتمی ناقص $B=$ ، نابجایی لبه ای $C=$

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) اگر تغییر طول یک ماده در اثر افزایش 100 درجه سانتیگراد دما برابر $10^{-4}L$ باشد ضریب انبساط حرارتی آن چقدر خواهد بود؟ (برحسب $^{\circ}C^{-1}$)

(1) 2×10^{-6}

(2) 1.5×10^{-6}

(3) 10×10^{-6}

(4) 0.5×10^{-6}

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \Rightarrow 10^{-4} L_0 = L_0 \alpha (100) \Rightarrow \alpha = 10^{-6}$$

تست) چگالی اتمی صفحه (100) در شبکه کریستالی f.c.c برحسب $(\text{اتم}/\text{mm}^2)$ کدام است؟

$$r = 0.124 \times 10^{-9} \text{m} \text{ (شعاع اتمی)}$$

(1) 43.112×10^{12}

(2) 34.49×10^{12}

(3) 17.245×10^{12}

(4) 8.622×10^{12}

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$4 \times \frac{1}{4} + 1 = 2$$

تعداد اتمها

$$A = a^2 = \left[\frac{4R}{\sqrt{2}} \right]^2 = 8(0.124 \times 10^{-9}) = 1/23 \times 10^{-19} \text{ m}^2$$

$$d = \frac{2}{1/23 \times 10^{-19}} = 1/63 \times 10^{19} \frac{\text{atm}}{\text{m}^2} = 1/63 \times 10^{13} = 16/3 \times 10^{12} \frac{\text{atm}}{\text{mm}^2}$$

تست (کدام یک از عوامل زیر دمای انتقالی (Transition Temperature) را تحت تاثیر قرار نمی

دهد؟

- (1) سختی جسم
- (2) شکل هندسی جسم
- (3) اندازه دانه های جسم
- (4) سرعت اعمال نیرو بر جسم

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست (میزان حلالیت کربن در کدام ساختار آهن بیشتر است؟

(1) ساختار b.c.c

(2) در هر دو ساختار همواره با افزایش دما کاهش می یابد

3) ساختار f.c.c

4) در هر دو حالت یکسان است

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) کدام تعریف در مورد چقرمگی صحیح است؟ چقرمگی به گفته می شود.

1) مقدار انرژی برای شکست

2) مقدار انرژی جذب شده جهت تغییر شکل دائمی در ماده

3) مقدار انرژی جذب شده در محدوده الاستیک

4) مقدار انرژی جذب شده توسط ماده تا مرحله شکست

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) دانسیته (چگالی) آهن α که دارای ساختار b.c.c و مشخصات ذیل می باشد بر حسب ³

gr/cm³ کدام است؟ 6.02×10^{23} = آووگادرو 0.124×10^{-9} m = شعاع اتمی آهن α = 56 جرم

α
اتمی آهن

7.82 (2)

7.92 (1)

7.62 (4)

7.80 (3)

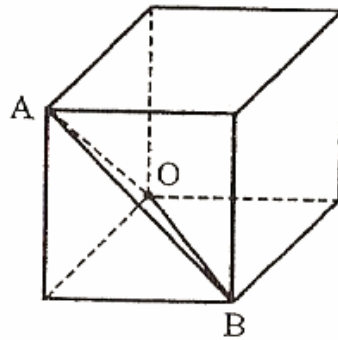
پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

No. of atoms in U.C = 2

$$\begin{aligned} \text{U.C volume; } V = a^3 &= \left[\frac{4R}{\sqrt{3}} \right]^3 = \frac{64}{3\sqrt{3}} R^3 = \frac{64}{3\sqrt{3}} (0.124 \times 10^{-7})^3 \\ &= 2/3 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{2 \times 56}{6/0.2 \times 10^{-23} \times 2/3 \times 10^{-23}} = 7/92 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

تست) اندیس میلر صفحه OAB عبارت است از :



(001) (2)

($\bar{1}$ $\bar{1}$ 1) (1)

($\bar{1}$ 1) (4)

(1 $\bar{1}$ $\bar{2}$) (3)

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) در تشکیل فاز پرلیت از آستنیت، فاز فریت و فاصله لایه ها تابعی از سرعت سرد کردن
.....

(1) و کاربید بطور همزمان رشد کرده - نیست .

(2) و کاربید بطور همزمان رشد کرده - است.

(3) بطور کامل پس از فاز کاربید تشکیل شده - است.

(4) بطور کامل پس از فاز کاربید تشکیل شده - نیست.

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست)فصل مشترک دو صفحه (101) و (111) کدام جهت است؟

(1) [110] (2) $[\bar{1}\bar{1}0]$

(3) [101] (4) $[\bar{1}0\bar{1}]$

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست) فاصله بین صفحات (111) در سیستم مکعبی وجوه مرکز دار (f.c.c) برحسب شعاع

اتم چقدر می باشد؟

$$\frac{\sqrt{2}}{3} R \quad (2) \qquad \frac{4R}{\sqrt{6}} \quad (1)$$

$$\sqrt{3}R \quad (4) \qquad \sqrt{6}R \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{4R}{\sqrt{2}}}{\sqrt{3}} = \frac{4}{\sqrt{6}} R$$

تست) چدن مالیل بوسیله عملیات حرارتی کدام چدن بدست می آید؟

(1) سفید

(2) مختلط

(3) چاییده

(4) خاکستری

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست) نوع پیوندهای موجود در مولکولهای پلیمر چگونه است؟

1) پیوند یونی

2) پیوندهای یونی و فلزی

3) پیوند کووالانسی و نیروهای واندروالس

4) پیوند یونی و نیروهای واندروالسی

پاسخ: گزینه (3) صحیح است



تست) در نقطه اوتکتیک و در فشار ثابت، در یک سیستم دوتایی درجه آزادی سیستم چقدر

است؟

2) دو

1) سه

4) صفر

3) یک

پاسخ: گزینه (4) صحیح است.

$$P + F = C + 2 \Rightarrow P + F = C + 1 \Rightarrow 3 + F = 2 + 1 \Rightarrow F = 0$$

در سیستم دوتایی ($C=2$) در نقطه یوتکتیک سه فاز در حالت تعادل اند. ($P=3$)



تست) با انحلال عناصر آلیاژی هدایت حرارتی مواد فلزی خالص کم میشود زیرا میشود.

- (1) سرعت الکترونها کم
 (2) سرعت الکترونها زیاد
 (3) طول پویس آزاد الکترون زیاد
 (4) طول پویس آزاد الکترون کم
 پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) فاز لدبوریت در چدن ها شامل چه اجزایی است ؟

- (1) $\alpha + \gamma$
 (2) $\gamma + Fe_3C$
 (3) $\alpha + Graphite$
 (4) $\gamma + Graphite$

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) در نیمه هادی های ذاتی ، رسانایی
 (1) به علت وجود الکترونهاى آزاد و ابر الکترونی است
 (2) ناشی از بزرگ بودن فاصله انرژی بین باند والانس و باند رسانایی است
 (3) بعلت وجود الکترونهاى اضافی ناشی از حضور اتمهای مهمان است
 (4) ناشی از انتقال الکترون از باند والانس به باند هدایت می باشد

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) در سیستم آهن - کربن ، ساختار تعادلی فولاد هیپویوتکتوئید در دمای محیط ... تشکیل شده است.

(1) فقط از فاز پرلیت α
(2) فقط از فاز α

(3) از فاز پرلیت و α
(4) از فاز مارتنزیت و α

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست) کدام یک از گزینه های زیر ارتباط بین کرنش حقیقی (ϵ) و کرنش مهندسی (e) را بیان می کند؟

$$\epsilon = \ln(1+e) \quad (2)$$

$$\epsilon = \ln e \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{1+e}{l_0} \quad (4)$$

$$\epsilon = \frac{e}{l_0} \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

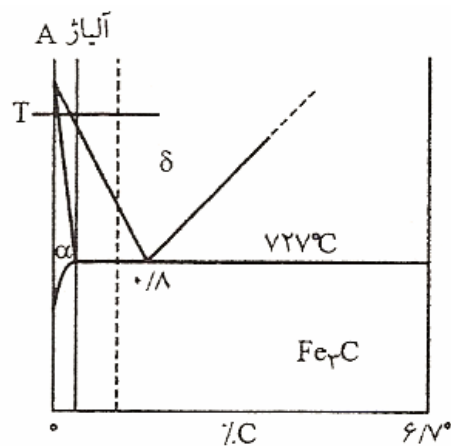
$$\left. \begin{aligned} d\epsilon &= \frac{dl}{l} \Rightarrow \epsilon = \ln \frac{L}{L_0} \\ e &= \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1 \Rightarrow \frac{L}{L_0} = 1+e \end{aligned} \right\} \Rightarrow \epsilon = \ln(1+e)$$

تست) اتم های آهن با ساختار b.c.c دارای چه عدد همسایگی می باشند.

- (1) ده (2) شش (3) هشت (4) دوازده

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست) کدام گزینه درباره آلیاژ A بعد از آهسته سرد شدن از درجه حرارت T صحیح است؟



(1) آلیاژ A در درجه حرارت اطاق فقط از فاز پرلیت تشکیل شده است.

(2) آلیاژ A در درجه حرارت اطاق از فاز پرلیت و α تشکیل شده است.

(3) آلیاژ A در درجه حرارت اطاق از فاز مارتنزیت و α تشکیل شده است.

(4) آلیاژ A در درجه حرارت اطاق از فاز α تشکیل شده است.

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) در بلورهای یونی، لغزش در صفحات و جهاتی اتفاق می افتد که دو یون هم نام، مجاور یکدیگر قرار نگیرد. باتوجه به این نکته کدام گزینه معرف لغزش در بلور نمک طعام NaCl است؟

1) جهات $\langle 010 \rangle$ صفحات $\{100\}$

2) جهات $\langle 111 \rangle$ صفحات $\{10\bar{1}\}$

3) جهات $\langle 10\bar{1} \rangle$ صفحات $\{111\}$

4) جهات $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ صفحات $\{110\}$

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست) پس از تولید اشعه ایکس باید آنرا فیلتر نمود و مواد تشکیل دهنده فیلتر باید فلزی با عدد اتمی کوچکتر از کاتد لامپ اشعه ایکس باشد، این کار با چه هدفی صورت می پذیرد؟

1) کاهش شدت اشعه ایکس

2) بوجود آوردن اشعه جدیدی با طول موج تازه

(3) انحراف زاویه α که برخورد اشعه ایکس می باشد بکار می رود

(4) از بین بردن زمینه ، با طول موجهای زائد که با باقیمانده اشعه ایکس فقط یک

طول موج دارد

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) در کدام گروه از مواد ذکر شده پیوندهای یونی وجود دارد؟

(1) فلزات (2) آلیاژها

(3) سرامیک ها (4) پلیمرها

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست) شعاع اتمی 0.1278nm میباشد و در هر سانتیمتر مکعب فضای اشغالی 0.85×10^{23} اتم

مس متراکم می شود. ضریب تراکم مس کدام است؟

(1) 0.47 (2) 0.5 (3) 0.74 (4) 1

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$P.F = 0.85 \times 10^{23} \times \frac{4}{3} \pi (0.1278 \times 10^{-7})^3 = 0.74$$

تست) کدام آلیاژ ، در ساخت قطعات پروتزی ارتوپدی مورد استفاده قرار می گیرد؟

Cu-Zn (2)

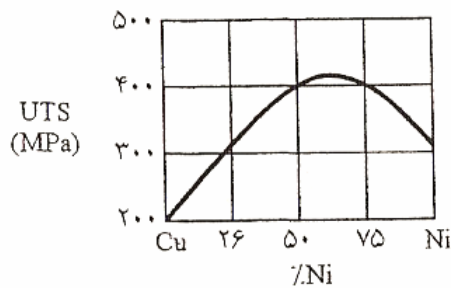
Cu-Ni (1)

Ti-Al (4)

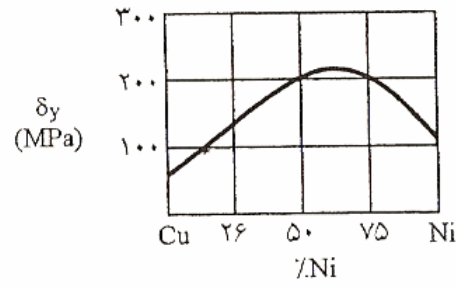
Pb-Sn (3)

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) در شکل‌های زیر ، نمودار (الف) تغییرات تنش در نقطه تسلیم با افزایش نیکل در آلیاژ نیکل-مس را نشان می دهد و در نمودار (ب) تغییرات حداکثر تنش کششی این آلیاژ با افزایش درصد نیکل نشان داده است.



نمودار (ب)



نمودار (الف)

ارزانترین آلیاژ نیکل - مس که حداقل تنش آن در نقطه تسلیم 100 مگاپاسکال و تنش کششی

آن (UTS) بیش از 300 مگاپاسکال باشد، دارای چند درصد نیکل است؟

75 (4)

68 (3)

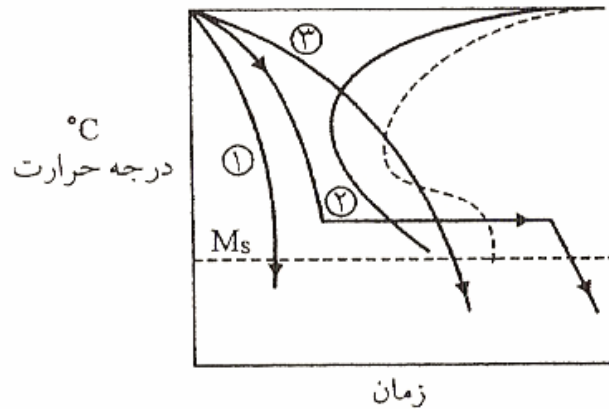
25 (2)

18 (1)

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست (مشخصات موجود در کدام گزینه درباره منحنی (CCT) عبارت زیر را کامل میکنند؟

(خطوط 1 و 2 و 3 سرعت‌های مختلف سرد کردن را نشان می‌دهد.)



خط سرد کردن (1) 100٪ و خط (2) 100٪ و خط (3) 100٪ ... تولید میکند.

(1) پرلیت ، بینیت ، مارتنزیت

(2) مارتنزیت ، پرلیت + بینیت ، پرلیت

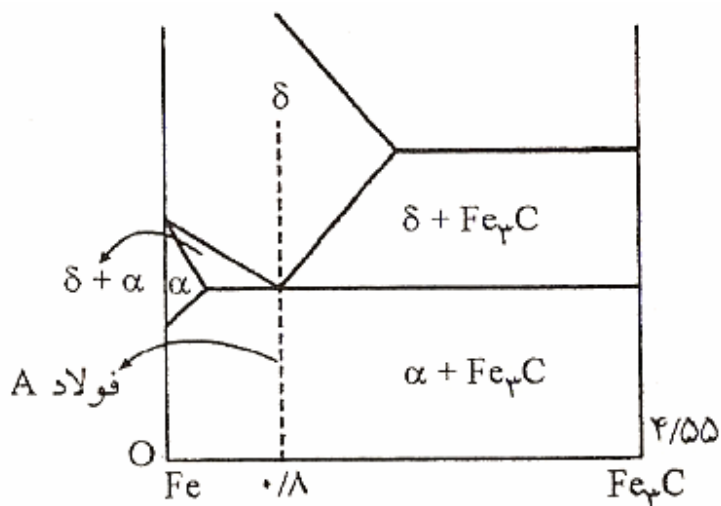
(3) مارتنزیت ، پرلیت + مارتنزیت ، پرلیت

(4) مارتنزیت ، بینیت ، پرلیت

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست (با توجه به دیاگرام روبرو فولاد A با 0.8٪ کربن آهسته تا درجه حرارت اطاق سرد میشود ،

اطلاعات داده شده در کدام گزینه به ترتیب فازها و درصد مقادیر آن را مشخص می کند؟



$$a = \%88, \gamma = \%12, \gamma + \alpha \quad (1)$$

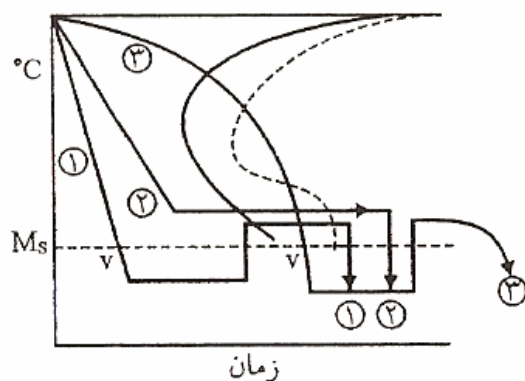
$$\alpha = \%88, Fe_3C = \%12, Fe_3C + \alpha \quad (2)$$

$$\alpha = \%88, Fe_3C = \%12, \gamma + Fe_3C \quad (3)$$

$$Fe_3C = \%88, \alpha = \%12, \gamma = \%12, \gamma + \alpha + Fe_3C \quad (4)$$

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) برای بدست آوردن ساختار مارتنزیت تمپر شده ، باید کدام مسیر عملیات حرارتی را دنبال کرد؟



1 (1)

2 (2)

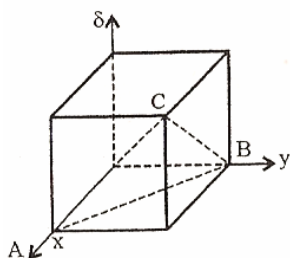
3 (3)

4 (4) 1 و 2 بایستی همزمان انجام شود

پاسخ: گزینه (1) صحیح است



تست) علامت صفحه ABC بر مبنای میلر (Miller) کدام است ؟



$$(1\bar{1}\bar{1}) \quad (1)$$

$$(\bar{1}\bar{1}\bar{1}) \quad (2)$$

$$(111) \quad (3)$$

$$(\bar{1}\bar{1}\bar{1}) \quad (4)$$

پاسخ: گزینه (1) صحیح است



تست) در یک ترکیب یونی با فرمول MX که X آنیون و M کاتیون است، مینیمم نسبت شعاع

$$\frac{r_M}{r_X}$$

یونها r_X برای یک عدد همسایگی 6 کدام است؟

$$0.255 \quad (2) \qquad 0.155 \quad (1)$$

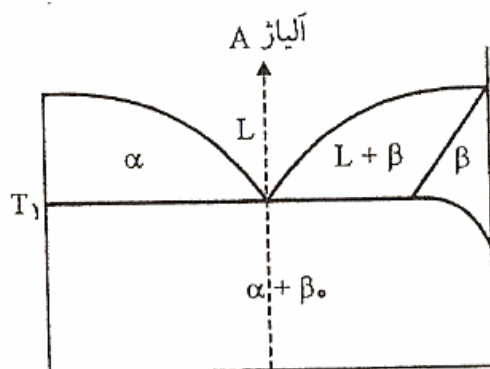
$$0.732 \quad (4) \qquad 0.414 \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$(r_M + r_x)\sqrt{2} = 2r_x$$

$$\Rightarrow \frac{r_M}{r_x} + 1 = \frac{2}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{r_M}{r_x} = \sqrt{2} - 1 = 0.414$$

تست (باتوجه به شکل مقابل، فلزهای موجود در درجه حرارت T_1 برای آلیاژ A، در حالت تعادل کدام است؟



(1) β, α

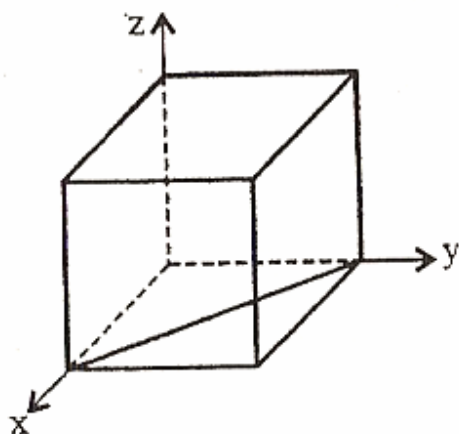
(2) L, β, α

(3) $\alpha + L$

(4) $L, \beta, L + \beta, \alpha$

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) کدام گزینه معرف جهت نشان داده شده در شکل است؟



(1) $[1\bar{1}0]$

(2) $[10\bar{1}]$

(3) $[\bar{1}11]$

(4) $[\bar{1}01]$

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست) در روش مطالعه ایکس Lave، باید از استفاده نمود.

(2) یک تک کریستال

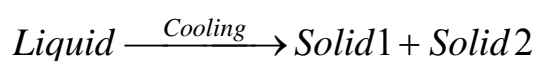
(1) پودر فلز

(4) هردو نوع کریستال

(3) یک پلی کریستال

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) با در نظر گرفتن دیاگرام فازی فلزات و آلیاژها، واکنشی که در آن یک مایع با سرد کردن، به دو فاز جامد متمایز تبدیل شود، واکنش گفته میشود.



(1) اوتکتیک

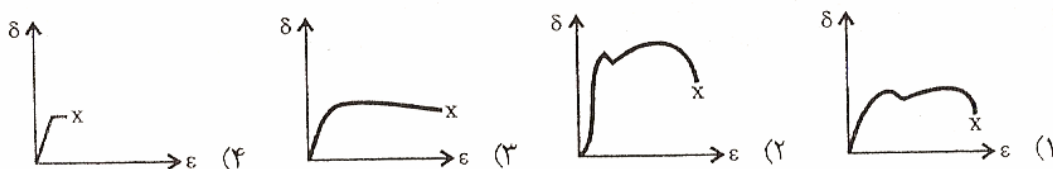
(2) اوتکتوید

(3) پریتکتیک

(4) تشکیل پرلیت

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست) کدام منحنی مربوط به تنش - کرنش ماده ای ترد و شکننده است؟



پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) در یک ساختمان یونی بر حسب قانون اول پاولینگ و نسبت شعاع کاتیون به آنیون، عدد کوردیناسیون کاتیون 6 پیش بینی می شود. اما در عمل این کاتیون دارای عدد کوردیناسیون 8 می باشد، زیرا اندازه آنیون و بار الکتریکی کاتیون است.

- (1) بزرگ - کم
(2) کوچک - کم
(3) بزرگ - زیاد
(4) کوچک - زیاد

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست (درمورد بلورهای یونی مانند بلور MgO با یک ساختمان کریستالی FCC (شبهه ساختمان کریستال NaCl)، کدامیک از عبارت صحیح است؟

(1) لغزش توسط نیروهای الکتروالاستیکی بین یونها تعیین میشود و در نتیجه لغزش در [100] آسانتر از [101] صورت می گیرد.

(2) لغزش توسط نیروهای الکتروالاستیکی بین یونها تعیین میشود و در نتیجه لغزش در [110] آسانتر از [100] صورت می گیرد.

(3) نیروهای الکتروالاستیکی عموماً نقشی در لغزش ایفا نکرده و در نتیجه لغزش در [110] آسانتر از [100] صورت می گیرد.

(4) لغزش توسط نیروهای الکتروالاستیکی بین یونها تعیین میشود و در نتیجه لغزش در [100] و [110] آسانتر از جهات دیگر صورت می گیرد.

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) بر روی میکروگراف یک نمونه TiC متخلخل ، یک ورق شفاف (ترانسپارنت) خانه بندی شده به طول 100 خانه و عرض 35 خانه قرار داده و خانه های قرار گرفته در ون حفره ها را معادل 70 خانه شمارش کرده ایم. اگر مدول الاستیته TiC چگال برابر 440 GPa باشد، در این صورت E این نمونه متخلخل بر حسب GPa تقریباً چقدر خواهد بود؟

- 220 (1 323 (2 400 (3 423 (4

$$\frac{E_a}{E_t} = 1 - \frac{V_v}{V_s \times 100} = 0.98 \Rightarrow E_a = 0.98(440) = 431.2 \text{ GPa}$$

پاسخ:



تست) نیروهای ثابتی مانند F به سه نمونه مشابه با قطر اولیه d_0 و طول اولیه l_0 در حد الاستیک وارد می شود. اگر مدول الاستیسیته سه نمونه به ترتیب $E_2=2E_1$ و $E_3=3E_1$ باشد، رابطه بین ازدیاد طول آنها کدام است ؟

- (1 $\Delta l_3 < \Delta l_2 < \Delta l_1$ (2 $\Delta l_3 > \Delta l_2 > \Delta l_1$
 (3 $\Delta l_2 > \Delta l_1, \Delta l_3 > \Delta l_2$ (4 $\Delta l_1 > \Delta l_2, \Delta l_3 > \Delta l_2$

پاسخ: گزینه (1) صحیح است



تست) دارا بودن ضریب مگنتواستریکسون اشباع ، انرژی انیتروپی مغناطوکریستالی، مقاومت مخصوص الکتریکی و نیز آهن ربایش جزو شرایط ایده آل برای خواص مغناطیسی و الکتریکی یک فریت نرم مغناطیسی محسوب میگردد.

- 1) بالا - بالا - پائین - کم
2) بالا - کم - بالا - کم
3) بالا - بالا - بالا - بالا
4) پائین - کم - بالا - کم
- پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) گرافیت ماده روانکار خوبی است ، زیرا

- 1) اتمهای کربن به صورت مجزا از یکدیگراند.
2) لایه های اتمی کربن با پیوند کووالانسی به یکدیگر اتصال دارند.
3) لایه های اتمی کربن با پیوند واندروالس به یکدیگر اتصال دارند.
4) اتمهای کربن با پیوندهای ثانویه به یکدیگر اتصال دارند.

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست (در کدام رابطه ، چقرمگی (تافنس)، در بدنه های کاربید تنگستن سمانته، آلومینا و فولاد معمولی، صحیح تر مقایسه شده اند؟

(1) آلومینا > تنگستن کاربید > فولاد

(2) فولاد > تنگستن کاربید > آلومینا

(3) فولاد > آلومینا > تنگستن کاربید

(4) تنگستن کاربید > فولاد > آلومینا

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست (آلیاژی به قطر 10 میلیمتر و طول 300 میلیمتر تحت بار کشش برابر با 5000N قرار گرفته است. کرنش کشش در قطعه و کاهش در قطر به ترتیب کدام است؟

$$E = 70 \text{ GPa}, \nu = 0.33$$

(1) $0.33 \times 10^{-3} \text{ mm}$, 1×10^{-4}

(2) $0.3 \times 10^{-3} \text{ mm}$, 9.1×10^{-4}

(3) $1 \times 10^{-3} \text{ mm}$, 3.03×10^{-4}

(4) $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}$, 4.55×10^{-4}

پاسخ: هیچ کدام از گزینه ها صحیح نیست.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{5000}{\frac{\pi}{4}(10)^2} = 63/67 \text{MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{63/67}{70 \times 10^3} = 9/1 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_L = -\nu \varepsilon_d \Rightarrow 9/1 \times 10^{-4} = -0/33 \varepsilon_d \Rightarrow \varepsilon_d = -0/0027$$

$$\varepsilon = \ln \frac{d}{d_0} \Rightarrow -0/0027 = \ln \frac{d}{10}$$

$$\Rightarrow d = 9/97 \text{mm}$$

$$\Rightarrow \Delta d = 0/3 \times 10^{-3} \text{mm}$$



تست (هنگامی انرژی پتانسیل یک جامد یونی افزایش می یابد که شعاع یونی آنیون و کاتیون
و بار الکتریکی آنها باشد.

(2) بزرگ - کم

(1) کوچک - کم

(4) کوچک - زیاد

(3) بزرگ - زیاد

پاسخ: گزینه (2) صحیح است



تست (اگر عدد اندازه دانه فلزی در استاندارد ASTM برابر با 4 باشد، متوسط قطر دانه های این
فلز چند میلی متر خواهد بود؟

0.0256 (4) 0.001 (3) 0.01 (2) 0.1 (1)

پاسخ: گزینه (1) صحیح است.

تعداد دانه ها در یک $N = 2^{n-1} = 2^3 = 8 \text{ mm}$

$$\frac{\text{mm}}{x} = \frac{8}{1} \Rightarrow x = \frac{1}{8} \approx 0.125 \text{ mm}$$



تست (کدام گزینه بیانگر پدیده بی خانمانی (*Disaccommodation*) در مورد فریت مغناطیسی می باشد؟

- 1) تغییرات تنش های پس مانده و اندازه دانه ها
- 2) تغییرات ابعاد قطعه تحت تاثیر میدان اعمال خارجی
- 3) تغییرات مقاومت مخصوص الکتریکی و مگنتواستریکسیون با زمان
- 4) تغییرات مقاومت نفوذ مغناطیسی نسبت به زمان در اثر یک شوک مکانیکی، تغییر ناگهانی میدان مغناطیسی و یا تغییر ناگهانی دما

پاسخ: گزینه (4) صحیح است



تست (استحکام فشاری - سرامیک ها در درجه حرارت معمولی و در 1000 درجه سانتیگراد از فلزات است.

(2) بیشتر - کمتر

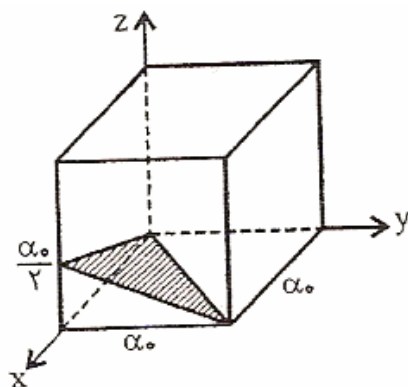
(1) کمتر - نیز کمتر

(4) کمتر - بیشتر

(3) بیشتر - بیشتر

پاسخ: گزینه (3) صحیح است

تست (اندیس میلر (Miller) صفحه نشان داده شده کدام است؟



(1) $(\bar{1}12)$

(2) (221)

(3) $(11\bar{2})$

(4) $(22\bar{1})$

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست) اندازه گیری دانسیته و تخلخل یک آجر نشان می دهد که دانسیته بالک و ظاهری با یکدیگر برابرند. این مساله نشان دهنده این است که :

(1) تمامی تخلخل های آجر باز است

(2) تمامی تخلخل های آجر بسته است

(3) میزان تخلخل با حجم پودر برابر است

(4) میزان تخلخل های باز و بسته باهم برابرند

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) در یک ساختمان یونی بصورت A_2B_3 شعاع $A^+ = 3.5A^0$ و شعاع $B = 7A^0$ میباشد. آنیونها به صورت و کاتیونها را پر می کنند.

(1) hcp-نیمی از حفره های چهار وجهی

(2) $\frac{2}{3}$ hcp- حفره های 8 وجهی

$$\frac{2}{3} - F.c.c \quad (3)$$

حفره های 8 وجهی

(4) مکعبی ساده - تمامی حفره های 8 وجهی

پاسخ: گزینه (2) صحیح است



تست) کدام گزینه ، طول بردار برگرز را برای فلز نقره با ساختار کریستالی F.C.C و پارامتر شبکه

ای a مشخص مینماید.

0.866a (1) 77.7a (2)

0.707a (3) a (4)

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$b = \frac{\sqrt{2}}{2} a = 0.707a$$



تست) در یک فرآیند نفوذ کاتیونی ، اگر نسبت سرعت واکنش در دمای 1000K به دمای اتاق برابر

با 2×10^{29} باشد، انرژی اکتیواسیون پروسه نفوذ کاتیون چند $\frac{kJ}{mol}$ است؟

- 200 (1) 240 (2) 280 (3) 300 (4)

پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= A \exp\left[\frac{-Q}{RT_1}\right] \\ V_2 &= A \exp\left[\frac{-Q}{RT_2}\right] \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \exp\left[\frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

$$\Rightarrow 2 \times 10^{29} = \exp\left[\frac{Q}{8/314}\left[\frac{1}{298} - \frac{1}{1000}\right]\right]$$

$$\Rightarrow Q = 238115/\Delta J/\text{mol}$$

$$\Rightarrow Q \approx 240 \text{ kJ/mol}$$

تست) اگر اختلاف الکترونگاتیویته، بین دو عنصر کاهش یابد، در این صورت درصد پیوند کووالانسی و درصد پیوند یونی می یابد.

- (1) کاهش - افزایش
(2) افزایش - افزایش
(3) کاهش - کاهش
(4) افزایش - کاهش

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) کدام عبارت در مورد تلفات هیستریزیس مغناطیس صحیح می باشد؟

(1) در یک ماده تک کریستالی ایده آل صفر است

(2) ارتباطی با تک کریستالی بودن و یا پلی کریستال بودن ماده ندارد

(3) در ماده تک کریستال ایده آل مقداری بیشتر از انواع پلی کریستال است

(4) در ماده تک کریستال ایده آل با یک ماده پلی کریستال یکسان است

پاسخ: گزینه (1) صحیح است



تست) کدام رابطه، ارتباط صحیح بین تنش حقیقی (σ)، تنش نامی (مهندسی) (σ_0)، کرنش نامی

(مهندسی) e و کرنش حقیقی ϵ را بیان کند؟

$$\sigma = \sigma_0 \ln(1 + \epsilon) \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_0 (1 + \epsilon) \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_0 \ln(1 + e) \quad (4)$$

$$\sigma = \sigma_0 (1 + e) \quad (3)$$

(1) پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma = \frac{F}{A} \\ \sigma_0 = \frac{F}{A_0} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{A_0}{A} \quad (1)$$

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1 \Rightarrow \frac{L}{L_0} = 1 + e \quad (2)$$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{A_0}{A} \quad (3)$$

$$(1), (2), (3) \Rightarrow \frac{\sigma}{\sigma_0} = 1 + e \Rightarrow \sigma = \sigma_0(1 + e)$$



تست (یک میله فولادی دارای خواص زیر است :

$$12 \times 10^6 \times C^{-1} = \text{ضریب انبساط گرمایی}$$

$$\text{مدول یانگ} = 205000 \text{ مگاپاسکال}$$

میزان افزایش دما (تغییر دما) که افزایش طول در این میله فولادی را معادل افزایش طول با اعمال

620 مگا پاسکال تنش کشش بوجود آورد محاسبه کنید.

(1) 205 درجه سانتیگراد (2) 254 درجه سانتیگراد

(3) 300 درجه سانتیگراد (4) 500 درجه سانتیگراد

پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

$$a = 12 \times 10^{-6} C^{-1}$$

$$E = 205 \times 10^3 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma}{E} = \alpha \Delta T \Rightarrow \frac{620}{205000} = 12 \times 10^{-6} (\Delta T)$$

$$\Rightarrow \Delta T = 252^{\circ}\text{C}$$

تست (نسبت طول بردار برگرز به پارامتر شبکه ای در ساختارهای SC,BCC,FCC به ترتیب برابر است با)

$$\frac{\sqrt{3}}{2}, 1, \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (1)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 1 \quad (2)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2}, 1, \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3)$$

$$1, \frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (4)$$

پاسخ: گزینه (4) صحیح است.

$$F.C.C; |b| = \frac{a\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$B.C.C; |b| = \frac{a\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$S.C; |b| = a \Rightarrow \frac{b}{a} = 1$$

تست) اگر دو فاز جامد در اثر سرد شدن باهم ترکیب شده و یک فاز جامد دیگر بوجود آورند، چنین واکنشی به واکنش موسوم است.

(1) اوتکتیکی

(2) پریتکتیکی

(3) اوتکتویدی

(4) پریتکتویدی

پاسخ: گزینه (4) صحیح است



تست) تنش برش بحرانی τ_{crss} لازم برای شروع لغزش در سیستم (111) تک کریستال $\langle \bar{1}10 \rangle$

خالص مس برابر 1MPa است چه تنشی لازم است در راستای [001] اعمال گردد تا لغزش در جهت

[101] و روی صفحه $(\bar{1}11)$ رخ دهد.

2.45 MPa (2)

2MPa (1)

(4) بی نهایت بزرگ

3.5 MPa (3)

پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

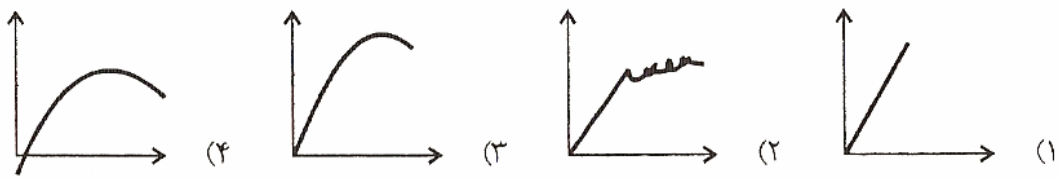
$$\tau_{cr} = \sigma \cos \phi \cos \lambda$$

$$\cos \lambda = \cos[(\bar{1}11), [001]] = \frac{0+0+1}{\sqrt{3}\sqrt{1}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\cos \phi = \cos[[001], [101]] = \frac{0+0+1}{\sqrt{1}\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

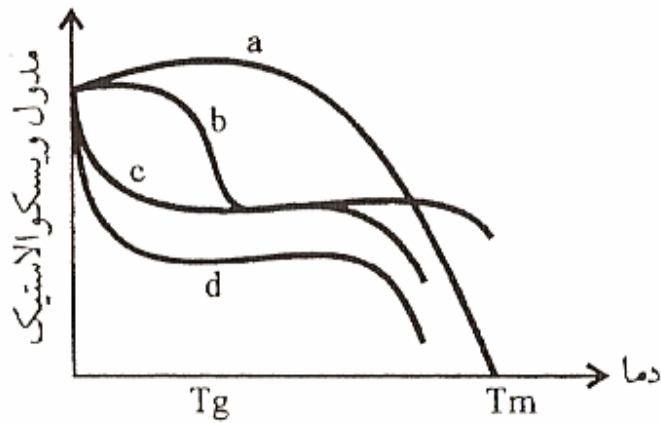
$$1 = \sigma \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow \sigma \sqrt{6} = 2/45 \text{MPa}$$

تست (کدامیک از منحنی های زیر معرف رفتار تنش - کرنش در سرامیک ها میباشد؟



پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست (کدامیک از منحنی های مقابل رفتار پلیمرهای بلوری را نشان می دهد؟



a (1)

b (2)

c (3)

d (4)

پاسخ: گزینه (1) صحیح است

تست) کدامیک از اسیدهای زیر برای آنودایز کردن آلومینوم استفاده میشود؟

(1) اسید کلریدریک (2) اسید فسفریک

(3) اسید سولفوریک (4) اسید نیتریک

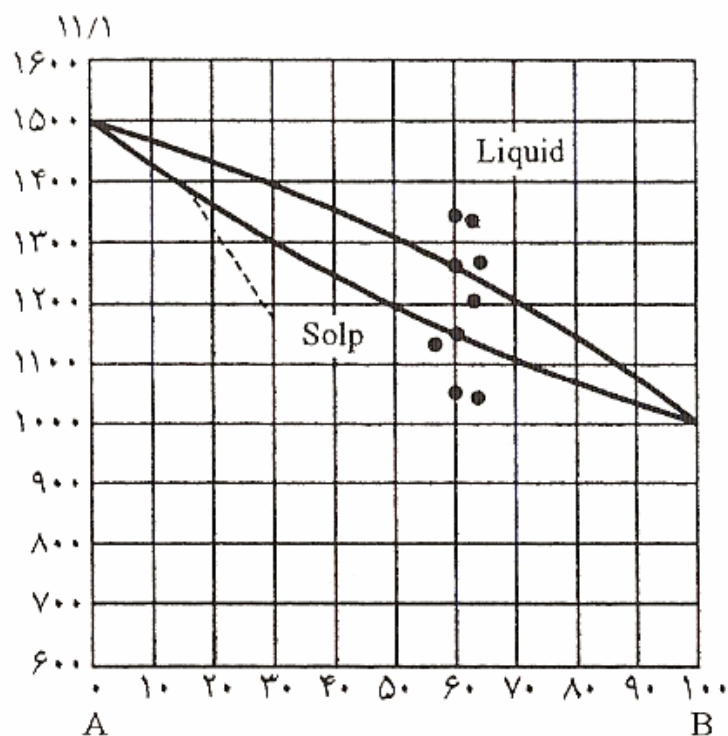
پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

اسیدی که حاوی سه یون H^+ باشد (H_3PO_4)

تست) در سیستم A-B انجماد غیر تعادلی آلیاژ B 3% را در نظر بگیرید. دمای پایان انجماد و ترکیب

شیمیایی متوسط فاز جامد در سرد کردن تعادلی که بوسیله خط چین نشان داده شده است برابر است

با :



1- انجماد در دمای تقریباً 1300 درجه سانتیگراد پایان می پذیرد و ترکیب شیمیایی آخرین جامد تقریباً B 30% است.

2- انجماد در دمای تقریباً 1300 درجه سانتیگراد پایان می پذیرد و ترکیب شیمیایی آخرین فاز جامد تقریباً B 30% است.

3- انجماد در دمای تقریباً 1200 درجه سانتیگراد پایان می پذیرد و ترکیب شیمیایی آخرین فاز جامد تقریباً B 30% است.

4- انجماد در دمای تقریباً 1200 درجه سانتیگراد پایان می پذیرد و ترکیب شیمیایی آخرین فاز جامد تقریباً B 47% است.

پاسخ: گزینه (4) صحیح است

تست) اکسید منیزیم MgO دارای ساختار کریستالی مشابه با NaCl میباشد اگر شعاع اتمهای منیزیم و اکسیژن 0.066nm و 0.132nm و جرم اتمی آنها به ترتیب 24.312 باشد، دانسیته تئوری ترکیب اکسید منیزیم چقدر خواهد بود؟

$$\frac{3}{5} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (1)$$

$$\frac{4}{\text{cm}^3} \quad (2)$$

$$\frac{4}{31} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (3)$$

$$\frac{5}{6} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (4)$$

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$2(r_{\text{mg}} + r_{\text{o}}) = a \Rightarrow 2(0.066 + 0.132) = 0.396 \text{ nm}$$

$$\rho = \frac{4 \times 24 / 312 + 4 \times 16}{6 / 0.2 \times 10^{-23} (0.396 \times 10^{-7})^3} = 4 / 31 \text{ g/cm}^3$$

تست) ورق مسی به ضمانت اولیه 1cm طی دو مرحله نورد سرد شده و ضمانت آن به ترتیب ابتدا به 0.5cm و بعد به 0.16cm کاهش می یابد. درصد کار سرد کل چقدر خواهد بود؟

$$75\% \quad (1) \quad 68\% \quad (2) \quad 84\% \quad (3) \quad 118\% \quad (4)$$

پاسخ: (3) صحیح است.

$$r_t = \frac{A_o - A}{A_o} = 1 - \frac{A}{A_o} = 1 - \frac{Wt}{Wt.} = 1 - \frac{0.16}{1} = 0.84$$

تست) تحرک الکترون در یک ماده نیمه هادی 0.19 متر مربع بر ولت بر ثانیه است و این نیمه هادی دارای 10^{20} الکترون در هر متر مکعب می باشد. رسانایی الکتریکی این نیمه هادی را محاسبه کنید. بار الکتریکی یک الکترون (0.16×10^{-18}) آمپر ثانیه است.

$$0.33 \times 10^{20} \Omega m^{-1} \quad (2) \qquad 3.04 \times 10^{20} \Omega^{-1} m^{-1} \quad (1)$$

$$3 \times 10^{20} \Omega^{-1} m^{-1} \quad (4) \qquad 3.04 \times 10^{20} \Omega^{-1} m^{-1} \quad (3)$$

$$neR\eta = 1 \Rightarrow \frac{I}{R} = ne\eta = 1.2 \times 0.16 \times 10^{-18} \times 0.19 = 3/0.4$$

پاسخ:

تست) کدام عبارت ذیل در مورد فلزات صحیح است؟

- 1- گرمای ذوب فلزات بیشتر از گرمای نهان تبخیر می باشد
- 2- گرمای نهان تبخیر فلزات بیشتر از گرمای نهان ذوب می باشد
- 3- هرچه دمای ذوب فلز پایین تر باشد، دمای تبخیر نیز پایین می باشد
- 4- افزایش نسبت گرمای نهان تبخیر به گرمای نهان ذوب به ساختار کریستالی بستگی دارد

پاسخ: گزینه (2) صحیح است

تست) اگر در زیر میکروسکوپ، در یک نمونه فولادی نسبت پرلیت به فریت (4:1) باشد، مقدار تقریبی

کربن فولاد معادل به چه عددی می‌گردد؟

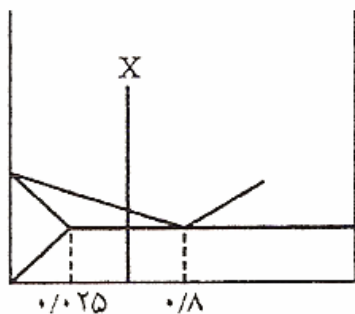
- 0.74 (4) 0.64 (3) 0.54 (2) 0.44 (1)

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{x - 0.025}{0.08 - 0.025} \\ p &= \frac{0.08 - x}{0.08 - 0.025} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\alpha}{p} = \frac{x - 0.025}{0.08 - x} = \frac{4}{1}$$

$$\Rightarrow x - 0.025 = 3/2 - 4x \Rightarrow 5x = 3/225$$

$$\Rightarrow x = 0.0645$$



تست) تک کریستالی با شبکه FCC و حجم V در یک تحول الوتروپیک به شبکه مکعبی ساده با حجم

$$V' \text{ تحول می یابد. نسبت } \frac{V'}{V} \text{ به کدام گزینه نزدیکتر خواهد بود؟}$$

- $\frac{3}{2}$ (4) $\frac{3}{4}$ (3) 2 (2) 1 (1)

پاسخ: گزینه (4) صحیح است.

$$\left. \begin{array}{l} \text{s.c} = (2R)^3 = 8R^3 \\ \text{F.C.C} = (r\sqrt{2}R)^3 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V'}{V} = \frac{4V_{\text{s.c}}}{V_{\text{F.C.C}}} = \frac{4(2R)^3}{(2\sqrt{2}R)^3} = \frac{4}{2\sqrt{2}} = \sqrt{2} = 1/4$$



تست (فصل مشترک صفحات (111) و $(11\bar{1})$ در سیستم مکعبی چه جهتی است؟

$[01\bar{1}]$ (1)
 $[102]$ (2)

$[10\bar{1}]$ (3)
 $[1\bar{1}0]$ (4)

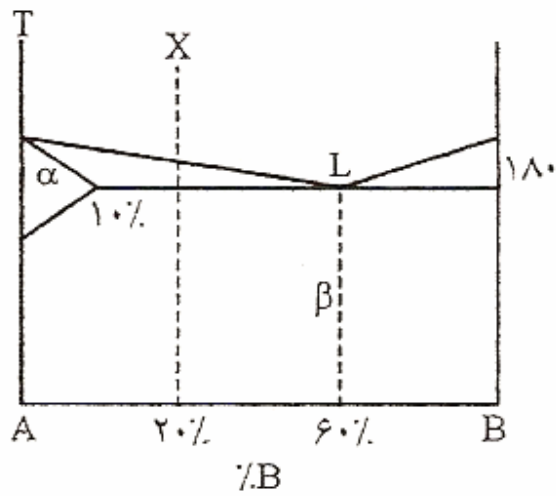
پاسخ: گزینه (4) صحیح است



تست (در شکل مقابل و در ترکیب X، درصد فاز مایع در درجه حرارت 180 درجه سانتیگراد برابر است

با:

- 60 (4) 50 (3) 20 (2) 10 (1)



پاسخ: گزینه (2) صحیح است.

$$\%L = \frac{20 - 10}{60 - 10} = \frac{10}{50} = 0.2 = 20\%$$

تست (در یک سیستم بلوری مکعبی فاصله صفحات اتمی (d) صفحه (hkl) برابر است با:

$$d = \frac{2 \sin \theta}{n \lambda} \quad (2)$$

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} \quad (1)$$

$$d = \frac{2 \sin 2\theta}{\lambda} \quad (4)$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3)$$

پاسخ: گزینه (3) صحیح است.

$$\lambda = 2d \sin \theta \Rightarrow d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

تست) اگر ضریب نفوذ اکسیژن در ترکیب C_2O_3 به ترتیب در دمای 1150 درجه سانتیگراد و 1715

درجه سانتیگراد معادل $4 \times 10^{-15} \frac{cm^2}{s}$ و $6 \times 10^{-11} \frac{cm^2}{s}$ باشد، اکتیواسیون (انرژی فعال سازی) فرآیند نفوذ چقدر خواهد بود؟

97.4 K cal (2)

80 K cal (1)

95.5 K cal (4)

85.5 K cal (3)

پاسخ: گزینه (4) صحیح است.

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= D_0 \exp\left[\frac{-Q}{RT_1}\right] \\ D_2 &= D_0 \exp\left[\frac{-Q}{RT_2}\right] \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \exp\left[\frac{Q}{R}\left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]\right]$$

$$\Rightarrow \frac{6 \times 10^{-11}}{4 \times 10^{-15}} = \exp\left[\frac{Q}{1/987}\left[\frac{1}{1423} - \frac{1}{1988}\right]\right]$$

$$\Rightarrow Q = 95 \text{ kcal}$$

تست) برای وقوع پدیده Stress Corrosion Cracking (SSC) کدامیک از شرایط زیر حتماً باید فراهم باشد؟

1- محیط خورنده با مولفه کششی

2- آلیاژ مستعد، تحت تنش کششی یا تنش با مولفه کششی، در محیط خورنده

3- ترک مرز دانه ای در محیط خورنده با تنش فشاری

4- ترک Transgranular (فردانه ای) در محیط حاوی کلراید

پاسخ: گزینه (2) صحیح است



منابع و مراجع :

- 1- علم مواد -حسین توپسرکانی-انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان
- 2- اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها (ویرایش دوم) ، تالیف دکتر محمد علی گلعدار
- 3- مجموعه سوالات کنکورهای دانشگاههای آزاد و سراسری
- 4- جزوات رشته متالورژی موسسه سنجش و دانش