

به نام خدا  
جزوه علم مواد  
(مهندس خضریان)

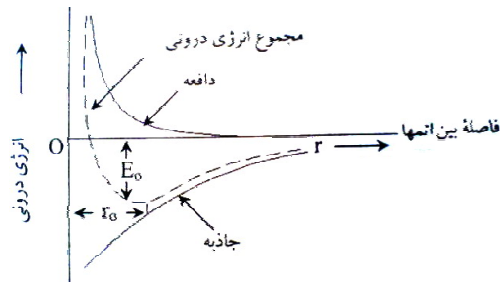
۱-۱- علم مواد

علم مواد در واقع علمی است که به بررسی ساختار مواد، عناصر تشکیل دهنده آن، نحوه تشکیل و بسیاری موارد دیگر می پردازد. در ابتدا تعاریف زیر ارائه می شوند.

۱-۲- پیوند فلزی

این پیوند وقتی حاصل می شود که هر یک از اتم های فلز یا آلیاژ، الکترون های ظرفیت خود را برای تشکیل یک ابر الکترونی مشترک بین تمام اتم های فلز جامد به اشتراک بگذارند و ساختار نهایی به شکل تعدادی یون فلزی است که بوسیله الکترون ها احاطه شده است.

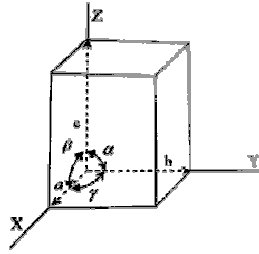
☑ نکته ۱: هدایت الکتریکی و حرارتی در فلزات بواسطه وجود ابر الکترونی در ساختار فلزات می باشد. اتم های یک فلز بر همدیگر دو نیروی جاذبه و دافعه را وارد می کنند که با توجه به فاصله این اتم ها مقدار آن ها مختلف می باشد که این تفاوت در شکل زیر نشان داده شده است. انرژی درونی برابر با مجموع جبری این دو در فاصله معین می باشد.



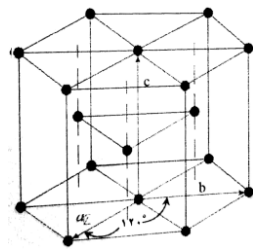
رابطه انرژی درونی با فاصله بین اتم ها

۱-۲-۱- ساختار بلوری

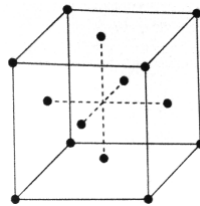
در هر ماده اتم ها در محل معینی قرار می گیرند که با اتصال محل این اتم ها به همدیگر ، شبکه ای سه بعدی حاصل می شود که به آن شبکه فضایی می گویند. سلول کوچکترین واحد از ساختار بلوری است که همانند خود بلور و متقارن است. ساختار بلور با پارامترهایی تعریف می شوند که در شکل زیر نشان داده شده است.



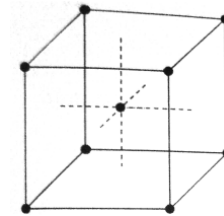
از جمله ساختار ها یا شبکه های فضایی می توان به سه حالت عمده F.C.C و B.C.C و H.C.P اشاره کرد که در شکل زیر نشان داده شده اند که اکثر فلزات به یکی از سه حالت فوق متبلور می شوند.



ساختار H.C.P



ساختار F.C.C



ساختار B.C.C

نکته ۲: نیروی جاذبه میل به کاهش انرژی درونی و نیروی دافعه میل به افزایش آن دارد. در یک فاصله خاص مقدار این دو نیرو با هم برابر بوده که به آن فاصله تعادل می گویند.

(آزاد ۸۳)

تست: کدام گزینه در مورد سلول واحد درست است؟

- ۱) از کوچکترین گروه اتمی تشکیل شده است که به شکل مکعب چیده می شود.
- ۲) از کوچکترین گروه اتمی تشکیل شده است که به طور منظم در کریستال تکرار می شود.
- ۳) مکعبی است که شامل کمترین تعداد اتم می باشد.
- ۴) از کوچکترین گروه اتمی تشکیل شده است که موجب پراش اشعه ایکس می شود.

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

## ۲-۲-۱- جرم مخصوص

طبق تعریف، نسبت وزن اتم های موجود در هر واحد شبکه بلور (سلول) به حجم سلول را جرم مخصوص می گویند. در این میان لازم است تا تعداد اتم ها را در سلول و حجم آن را محاسبه کنیم. توجه شود که وزن

اتم ها در ساختار مفروض برابر با حاصل ضرب تعداد اتم ها در جرم اتمی می باشد. برای سه ساختار اشاره شده در بالا داریم:

تعداد اتم ها در مرکز شبکه	$N_i$
تعداد اتم ها در مرکز سطوح	$N_f$
تعداد اتم ها در گوشه ها	$N_c$

با توجه به موارد فوق رابطه زیر را خواهیم داشت:

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

بدین ترتیب برای ساختارهای مهم زیر می توان تعداد اتم ها، حجم شبکه و جرم مخصوص در ساختار را تعیین کرد.

جرم مخصوص در ساختار	حجم شبکه در ساختار	تعداد اتم ها در ساختار	
$\rho = \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} \frac{N \cdot M_m}{V}$	$V = \left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3$	$N = 1 + \frac{0}{2} + \frac{8}{8} = 2$	<b>B.C.C</b>
$\rho = \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} \frac{N \cdot M_m}{V}$	$V = (2\sqrt{2}r)^3$	$N = 0 + \frac{6}{2} + \frac{8}{8} = 4$	<b>F.C.C</b>
$\rho = \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} \frac{N \cdot M_m}{V}$	$V = 16.97r^3$	$N = 3 + \frac{2}{2} + \frac{12}{8} = 6$	<b>H.C.P</b>

### ۲-۲-۱- ضریب فشردگی

طبق تعریف، ضریب فشردگی در هر واحد شبکه بلور (سلول) برابر است با نسبت حجم اتمهای موجود در واحد شبکه به حجم واحد شبکه. توجه شود که اتم ها کروی بوده و حجم هر اتم آن برابر است با  $V = \frac{4\pi r^3}{3}$  و حجم واحد شبکه نیز به شکل آن بستگی دارد.  نکته ۱: در شبکه مکعبی ساده، تعداد اتم ها برابر با ۱ بوده و ضریب فشردگی آن برابر با ۵۲ درصد می باشد.

تست: رابطه بین شعاع اتمی و پارامتر شبکه F.C.C کدام است؟ (سراسری ۷۹)

$$4R = a\sqrt{3} \quad (۴) \quad a = R\frac{\sqrt{2}}{4} \quad (۳) \quad R\sqrt{2} = 4a \quad (۲) \quad R = a\sqrt{2} \quad (۱)$$

پاسخ: با توجه به مطالب ارائه شده در متن درس گزینه ۱ صحیح است.

تست: تعداد اتم های موجود در شبکه F.C.C در کدام گزینه آمده است؟ (سراسری ۷۹)

$$۸ \quad (۴) \quad ۶ \quad (۳) \quad ۴ \quad (۲) \quad ۱۲ \quad (۱)$$

پاسخ: با توجه به مطالب ارائه شده در متن درس گزینه ۲ صحیح است.

تست: ضریب فشردگی در شبکه F.C.C برابر چند درصد است؟ (سراسری ۷۹)

(۱) ۵۲ درصد (۲) ۶۸ درصد (۳) ۷۴ درصد (۴) ۸۴ درصد

پاسخ: با توجه به مطالب ارائه شده در متن درس گزینه ۳ صحیح است.

### ۳-۱- صفحات کریستالوگرافی

لایه های اتمی یا صفحه هایی که اتم ها در امتداد آن ها آرایش یافته اند، صفحه های کریستالوگرافی می گویند. هر صفحه را با یک مختصات خاص معرفی می کنند. در صورتی که هر کدام از محور های مختصات را در نقطه ای خاص قطع کند، آن مقدار همان مؤلفه مربوط به X یا Y یا Z آن مختصات است. اگر صفحه ای موازی یکی از محور های مختصات باشد، مختصه آن را برابر با صفر در نظر می گیریم. صفحه را با  $\{ \}$  و جهت را که در واقع بردار واصل است را با  $[ ]$  نشان می دهیم.

نکته ۲: مختصه  $\{010\}$  یعنی صفحه در ۱ محور Y را قطع کرده و موازی صفحه XOZ می باشد.  
 نکته ۳: مهمترین صفحه، آن هایی هستند که جمعیت اتمی و فاصله بین صفحه ای بیشتری داشته باشند.

نکته ۴: در ساختار B.C.C متراکم ترین صفحه  $\{110\}$  و متراکم ترین جهت  $[111]$  می باشد.  
 نکته ۵: در ساختار F.C.C متراکم ترین صفحه  $\{111\}$  و متراکم ترین جهت  $[110]$  می باشد.  
 نکته ۶: در ساختار S.C. (مکعبی ساده) متراکم ترین صفحه  $\{100\}$  و متراکم ترین جهت  $[100]$  می باشد.  
 نکته ۷: در صورت داشت مقدار گویا یا کسری می توان مختصات را در عددی ضرب یا بر عددی تقسیم کنیم تا مقداری صحیح داشته باشیم. در این حالت می توان از مخرج مشترک برای کسرهای با مخرج نابرابر استفاده نمود.

### ۴-۱- عدد همسایگی

عبارت است از تعداد اتم و یون همسایه و تماس یک ذره به عبارت دیگر تعداد اتم هایی که اتم خاصی را احاطه کرده اند.

نکته ۸: هرچه عدد همسایگی بیشتر شود، ماده متراکم تر شده و شکل پذیری آن کمتر می شود.  
 نکته ۹: عدد همسایگی برای شبکه B.C.C برابر با ۸ و برای شبکه F.C.C برابر با ۱۲ و برای شبکه هگزاگونال برابر با ۱۲ می باشد.

تست: عدد همسایگی برای کریستال های با شبکه ساده برابر است با:

(۱) ۴ (۲) ۶ (۳) ۸ (۴) ۱۲

پاسخ: با توجه به نکته (۹) گزینه ۲ صحیح است.

تست: با افزایش عدد همسایگی در پیوند های کریستالی یک نمونه فلزی یا آلیاژی:

- (۱) تراکم اتمی نمونه کم می شود.  
(۲) شکل پذیری نمونه کمتر می شود.

۳) شکل پذیری نمونه بیشتری شود.

۴) مقاومت به ضربه نمونه زیادتر می شود.

پاسخ: با توجه به نکته (۸) گزینه ۲ صحیح است.

### ۱-۵- عیوب شبکه کریستالی

کریستالی که دارای شبکه کاملاً منظم باشد کریستال ایده آل می‌گویند ولی چنین کریستالی به ندرت یافت می‌شود. در کریستالها عیوب زیر موجود هستند:

- عیوب نقطه‌ای..... جای خالی، عیب بین نشینی، عیب جانشینی.
- عیوب خطی..... نابجایی لبه ای یا خطی، نابجایی پیچی، نابه جایی مختلط.
- عیوب صفحه‌ای..... عیوب لایه، مرز دانه ها، دو قلو شدن،
- عیوب حجمی.

#### ۱-۵-۱- عیوب نقطه ای

عیب نقطه ای خود به چند دسته تقسیم می‌شود.

##### ۱-۵-۱-۱- جای خالی

عیب جای خالی از مهمترین و ساده ترین عیوب نقطه ای به شمار می‌رود. این عیب در صورت نبود یک اتم در شبکه کریستالی رخ می‌دهد. با توجه به رابطه زیر می‌توان تعداد جاهای خالی را بدست آورد که  $K$  ثابت بولتزمان،  $E$  مقدار انرژی برای بیرون کشیدن یک اتم،  $T$  دما بر حسب کلوین و  $N$  تعداد کل محل های اتمی در شبکه می‌باشد.

$$n = Ne^{\left(\frac{-\Delta E}{kT}\right)}$$

##### ۱-۵-۱-۲- عیب بین نشینی

این عیب در اثر قرار گرفتن یک اتم در موقعیت نامناسب در ساختار بوجود می‌آید. این عیب باعث کجی و تغییر شکل موضعی ساختار می‌شود. این عیب بیشتر در شبکه های با تراکم پایین دیده می‌شود. در این حالت در ساختار تنش فشاری ایجاد می‌شود.

##### ۱-۵-۱-۳- عیب جانشینی

این عیب در اثر قرار گرفتن یک اتم از جنس و اندازه متفاوت با سایر اتم ها در ساختار ایجاد می‌شود. اگر اتم مورد نظر کوچکتر از اتم های ساختار باشد ایجاد کشش و اگر بزرگتر باشد ایجاد فشار می‌کند

##### ۱-۵-۲- عیوب خطی

عیب خطی به چند دسته تقسیم می شود. در این عیب کمیتی به نام بردار برگرز برای تعیین مقدار و جهت عیب بکار می رود و مقدار و جهت آن بر اساس مسیر نابجایی تعیین می شود.

### ۱-۲-۵-۱- نابجایی لبه ای یا خطی

این عیوب در امتداد یک خط در شبکه دیده می شوند که می توانند مجموعه ای از عیوب نقطه ای باشند. این عیب مهمترین عیب خطی یا دو بعدی است که در فلزات ایجاد تغییر شکل پلاستیک می کند. اگر عیب خطی در اثر عیب بین نشینی در راستای یک خط باشد به آن نابجایی لبه ای مثبت و اگر در اثر عیب جای خالی در راستای یک خط باشد به آن نابجایی لبه ای منفی می گویند.

☑ نکته ۱۰: اساس پدیده لغزش همین عیب نابجایی در شبکه کریستال می باشد.

☑ نکته ۱۱: در عیب نابهجایی لبه ای بردار برگرز عمود بر خط نابهجایی می باشد.

### ۱-۲-۵-۲- نابجایی پیچی

در این حالت صفحات عمود بر خط نابجایی کاملاً از یکدیگر جدا نبوده بلکه دو سطح در خلاف جهت هم و بر روی هم لغزش داشته و یک سطح پیچ را نشان می دهند.

☑ نکته ۱۲: در عیب نابجایی پیچی بردار برگرز موازی با خط نابجایی می باشد.

### ۱-۲-۵-۳- نابهجایی مختلط

از پیوستن نابهجایی های لبه ای و پیچی، نابجایی پیچی بدست می آید. در شبکه کریستالی بیتر از دیگر عیب ها این عیب مشاهده می شود. در نابهجایی ها اگر مانعی بر سر راه نابجایی وجود نباشد، تغییر شکل خواهیم داشت. از جمله موانع می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- برخورد دو نابجایی با همدیگر.
  - مرز دانه های که مانع از حرکت نابجایی می شود.
  - مرز های بین فازی در ساختار.
  - حضور میدان تنشی در بر سر راه نابجایی.
  - مرزهای قرعی ناشی از قرار گرفتن نابجایی های خطی زیر همدیگر
- ☑ نکته ۱۳: هرچه دانه های فلز ریز تر باشد، مرز ها بیشتر می شود و در نتیجه نابجایی ها با موانع بیشتری روبرو شده و تغییر شکل سخت تر شده یعنی استحکام و سختی افزایش می یابد.

### ۱-۲-۵-۳- عیوب صفحه ای

عیب صفحه ای یا سطحی نیز به چند دسته تقسیم می شود.

### ۱-۲-۵-۳-۱- عیوب لایه

این عیب از روی هم قرار گرفتن بدون نظم و ترتیب صفحات اتمی روی همدیگر بوجود می آید. به عنوان مثال در سیستمی که صفحات به شکل ABCABCABC... تکرار شوند عیب لایه نداریم ولی اگر صفحه ها به صورت ABCBCABC.. باشند، عیب لایه وجود دارد.

☑ نکته ۱۴: در سیستم مکعبی با وجوه مرکز دار و سیستم هگزاگونال متراکم عیب لایه وجود دارد.

### ۲-۳-۵-۱- مرز دانه ها

از جمله دیگر عیوب دو بعدی، مرز دانه ها می باشد که اهمیت خاصی در خواص مکانیکی مواد دارد. توجه شود مناطقی که دانه ها را با هم متصل می کند، مرز دانه ها می گویند.

### ۳-۳-۵-۱- دو قلو شدن

دومین مکانیزم تغییر شکل در فلزات که همراه با صدای "تق" می باشد را دو قلو شدن می گویند.

### ۴-۵-۱- عیوب حجمی

کل فشاهاى خالی ماکروسکوپی و میکروسکوپی مانند: حفره های انقباضی، حفره ناشی از خرج گازهای ترکیهائی موئی، عیوب ناشی از جوشی، از جمله این عیب به شمار می روند. وجود عیب حجمی باعث افزایش انرژی داخلی قطعه می شود.

☑ نکته ۱۵: به غیر عیب ساده جای خالی که در حالت تعادل ترمودینامیکی است مابقی عیوب در حالت تعادل نیستند و انرژی را افزایش می دهند.

تست: عیب جای خالی در سیستم های کریستالی در چه شرایطی افزایش پیدا می کند؟ (سراسری ۸۱)

(۱) انحلال جانیشینی (۲) کاهش سرعت انجماد (۳) همگن سازی (۴) افزایش سرعت انجماد

پاسخ: با توجه به مطالب ارائه شده در متن درس گزینه ۴ صحیح است.

تست: کدام یک از عیب های کریستالی زیر معرف یک عیب صفحه ای است؟ (آزاد ۸۳)

(۲) جای خالی (۲) نابجایی (۳) اتم بین نشینی خودی (۴) نقص در چیده شدن

پاسخ: با توجه به مطالب ارائه شده در متن درس گزینه ۴ صحیح است.

تست: کدام مورد در باره عیوب کریستالی صحیح است؟ (سراسری ۸۰)

(۱) با عملیات تحرارتی روی قطعه کار شده عیوب کریستالی تغییر نمی کند.

(۲) با افزایش عیوب کریستالی هدایت الکتریکی قطعه بیشتر می شود.

(۳) عیوب کریستالی در اثر کار مکانیکی در قطعه پدید می آید.

(۴) عیوب کریستالی تغییری در خواص الکتریکی و مکانیکی قطعه ایجاد نمی کند.

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است.

### ۱-۶- آلیاژها

آلیاژ ماده ای است با خواص فلزی و تشکیل شده از دو یا چند عنصر شیمیایی که حداقل یکی از آن ها فلز باشد. اگر سیستمی از دو عنصر تشکیل شده باشد، سیستم آلیاژی دوتایی و اگر از سه عنصر تشکیل شده باشد، سیستم آلیاژی سه تایی می گویند. آلیاژها ممکن است همگن یا مخلوط باشند. اگر الیاژ از یک فاز تشکیل شده باشد به آن یکنواخ و اگر از چند فاز تشکیل شده باشد به آن مخلوط می گویند. هر گونه تغییر در ساختار

آلیاژ اعم از تغییر نوع ساختار کریستالی، تغییر در پارامترهای شبکه ای و همچنین تغییر در ترکیب و درصد اتم ها را تغییر فاز می گویند. در حالت جامد سه فاز می تواند وجود داشته باشد که عبارت اند از:

- فلز خالص
  - فاز آلیاژی یا ترکیب واسطه
  - محلول جامد
- نکته ۱۶: از معمول ترین فازهای آلیاژی واسطه عبارت اند از (۱) ترکیب های بین فلزی یا ظرفیتی. (۲) ترکیب های بین نشینی. (۳) ترکیب های الکترونی.
- نکته ۱۷: دو نوع محلول جامد داریم که عبارت اند از: (۱) محلول جامد جانشینی. (۲) محلول جامد بین نشینی.

تست: از شرایط انحلال بین نشینی دو فلز در یکدیگر کدام است؟ (سراسری ۸۱)

(۱) اختلاف زیاد شعاع اتمی  
(۲) نزدیک بودن شعاع اتمی  
(۳) مختلف بودن شبکه کریستالی  
(۴) تساوی شعاع اتمی

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

تست: کدام گزینه صحیح است؟ (سراسری ۸۰)

(۱) در حلالیت نفوذی شعاع اتمی حلال و حل شونده بایستی تقریبا یکسان باشد.  
(۲) حلالیت نفوذ در شبکه FCC بیش تر از شبکه BCC است.  
(۳) حلالیت نفوذ در شبکه BCC بیش تر از شبکه FCC است.  
(۴) حلالیت جانشینی و بین نشینی فقط در حالت جامد انجام می شود.

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

تست: ترکیبات بین فلزی، غالبا سخت و شکننده هستند. علت آن: (آزاد ۸۳)

(۱) نوع پیوند فلزی و اشتراکی اتم ها است.  
(۲) نوع پیوند یونی و اشتراکی اتم ها می باشد.  
(۳) نوع پیوند فلزی و یونی اتم ها می باشد.  
(۴) به نوع پیوند اتم ها ارتباط ندارد.

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

## ۷-۱- نمودار فازی آلیاژی دوتایی

نمودارهای فازی ارتباط فازها را در شرایط تعادل نشان می دهند. تحت شرایط تعادل با گذشت زمان تغییری در فازها رخ نمی دهد. توجه شود که شرایط تعادل با گرم یا سرد کردن بسیار کند و آرام امکان پذیر است.

## ۷-۱-۱- قانون فازها

قانون فاز ها به شکل زیر تعریف می شود:

$$F + P = C + 1$$



در عبارت قانون فاز ها، F تعداد درجات آزادی، P تعداد فاز های در حال تعادل و C تعداد اجزای سازنده سیستم می باشد که یک جزء می تواند یک عنصر، یک ماده مرکب و یا یک محلول جامد باشد.

### ۲-۷-۱- مشخصات نمودار های فازی

در نمودار فازی، دما برحسب سانتی گراد یا فارنهایت روی محور عمودی و ترکیب شیمیایی برحسب درصد وزنی روی محور افقی نشان داده می شود. می توان درصد وزنی و درصد اتمی را به شکل زیر با هم مرتبط ساخت:

$$A_{\text{درصد اتمی}} = \frac{100X}{X + Y\left(\frac{M}{N}\right)} \quad B_{\text{درصد اتمی}} = \frac{100Y\left(\frac{M}{N}\right)}{X + Y\left(\frac{M}{N}\right)}$$

در رابطه فوق داریم:

M: وزن اتمی فلز A  
N: وزن اتمی فلز B  
X: درصد وزنی فلز A  
Y: درصد وزنی فلز B

### ۸-۱- مهمترین دیاگرام ها

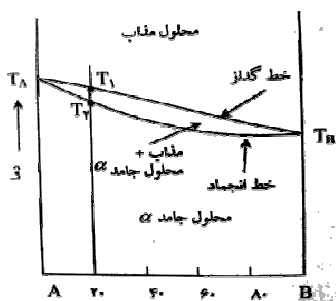
در علم مواد نمودارهای مهمی در رابطه با ترکیب های فازی مختلف وجود دارد.

۱-۸-۱- اجزایی که در حالت مایع کاملاً در هم محلولند.

۱-۸-۱-۱- در حالت جامد کاملاً محلولند. (نوع ۱)

در این حالت دو فلز در حالت جامد کاملاً در هم حل می شوند. نمودار فازی در این حالت به شکل زیر می باشد. نکات مهم در رابطه با این نمودار عبارت اند از:

- خط گذاز
- خط انجماد
- محدوده مذاب، محلول جامد و ترکیب این دو
- نقطه انجماد و ذوب



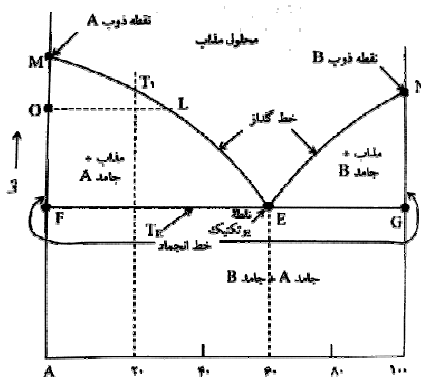
☑ نکته ۱۸: در نمودار فازی، ترکیب شیمیایی برحسب درصد وزنی روی محور افقی از صفر تا ۱۰۰ درصد نشان داده شده است.

☑ نکته ۱۹: با استفاده از نمودار فازی می توان موارد زیر را بدست آورد:

- تعیین نوع فازها
- تعیین ترکیب شیمیایی
- تعیین درصد فازها
- شکل شماتیکی فازها

### ۲-۱-۸-۱- در حالت جامد کاملاً نامحلولند. تحول یوتکتیک (نوع ۲)

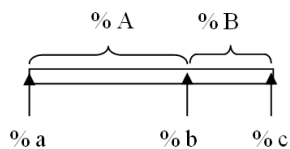
در این حالت دو فلز در حالت مذاب کاملاً در هم محلول هستند ولی در حالت جامد کاملاً نامحلول هستند. حالت نامحلول را اینگونه فرض می کنیم که حلالیت خیلی کم است. نمونه ای از این حلالیت در شکل زیر که مربوط به بیسموت-کادمیوم Bi-Cd و سیلیسیم-آلومینیوم Si-Al است در شکل زیر نشان داده شده است.



☑ نکته ۲۰: در نقطه یوتکتیک، مذاب تبدیل به دو جامد می شود. یعنی:  $L \rightleftharpoons S_1 + S_2$

☑ نکته ۲۱: به آلیاژ سمت چپ نقطه یوتکتیک، هیپویوتکتیک و به آلیاژ سمت راست آن آلیاژ هایپر یوتکتیک می گویند.

☑ نکته ۲۲: برای حل مسائل با استفاده از نمودار فازی جهت تعیین درصد دو عنصر A و B از رابطه زیر استفاده می کنیم. شک زیر قسمتی از منحنی در نمودار فازی در فاصله دو دمای a و c است. نقطه b نیز نقطه یوتکتیک است.

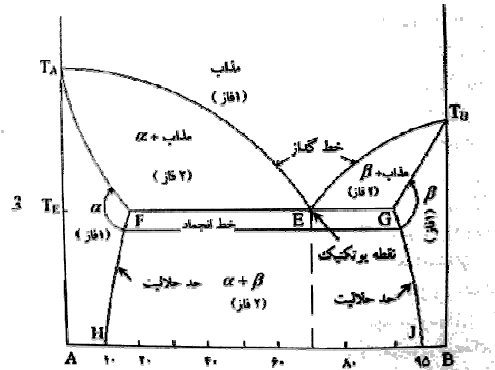


$$\%A = \frac{b-a}{c-a} \times 100$$

$$\%B = \frac{c-b}{c-a} \times 100$$

### ۳-۱-۸-۱- در حالت جامد مقداری محلولند. تحول یوتکتیک (نوع ۳)

در این حالت دو فلز در حالت مذاب کاملاً محلول بوده و در حالت جامد به طور مختصر در یکدیگر محلول هستند. این نمودار در شکل زیر نشان داده شده است.



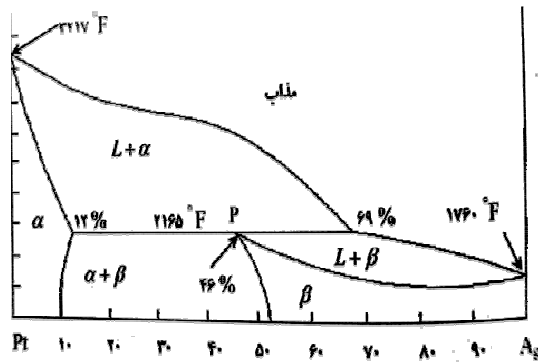
نکته ۲۳: سیستم یوتکتیک فوق در میان سیستم‌ها حداکثر استحکام را دارد.

#### ۱-۸-۱-۴- یک فاز میانی با ذوب متجانس تشکیل می‌دهند. (نوع ۴)

هنگامی که فاز در شرایط هم‌دما به فاز دیگری تبدیل شود و هیچگونه تغییری در ترکیب شیمیایی رخ ندهد گفته می‌شود که تغییر فاز متجانس یا تحول متجانس رخ داده است. تمام فلزات خالص به صورت متجانس منجمد می‌شوند.

#### ۱-۸-۱-۵- واکنش پری تکتیک (نوع ۵)

در واکنش پری تکتیک به هنگام سرد کردن، یک مذاب و یک جامد به طور هم‌زمان واکنش می‌کنند تا جامد جدید تشکیل دهند. این واکنش دما ثابت بوده و آلیاژها دو فاز هستند. نمونه ای از دیاگرام فاز برای این تحول به شکل زیر می‌باشد.

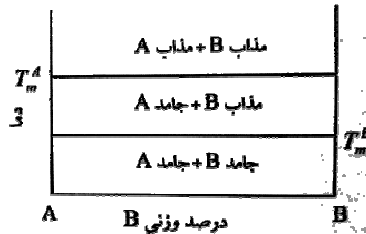


#### ۱-۸-۲- اجزای که در حالت مذاب مقداری محلولند. تحول منوتکتیک (نوع ۶)

در این حالت دو فاز مذاب که در حالت مذاب تا حدودی در هم حل می‌شوند و تشکیل یک مذاب جدید و یک جامد می‌دهد.

### ۳-۸-۱- اجزایی که در حالت مذاب و جامد نامحلولند. (نوع ۷)

این قسمت کامل کننده بررسی فازهای اساسی یا نمودارهای تعادلی است که شامل حالت های مذاب و جامدند. نمونه‌ای از این نمودار فازی به شکل زیر می باشد.

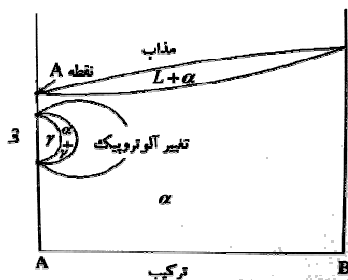


### ۴-۸-۱- تبدیل ها و تحول ها در حالت جامد

تغییرات تعادلی و واکنش های متعددی وجود دارند که همگی در حالت جامد رخ می دهند. این تحول ها ۴ تا بوده و عبارت اند از:

#### ۱-۸-۴-۱- تغییرات آلوتروپیک

درباره فلزات و ساختار بلورب برخی فلزها بسته به دما، ممکن است که بیش از یک نوع ساختار بلوری داشته باشند. این خاصیت را آلوتروپی می گویند. تحول الوتروپیک را به صورت نقطه یا نقاطی بر خط عمودی همانند شکل زیر مشخص می کنند. آهن، قلع و منگنز فلزهایی هستند که این خاصیت را دارند.



#### ۲-۸-۴-۱- منظم-نامنظم

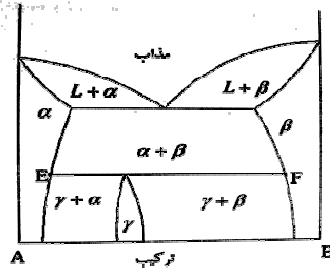
در هنگام تشکیل یک محلول جامد، جانمایی، اتم های حل شونده جای مشخصی را اشغال نمی کنند بلکه به صورت اتفاقی در ساختار شبکه حلال پخش می شوند. در این صورت می گویند آلیاز در شرایط نامنظم قرار دارد. در برخی محلول های فلزی، اگر آهسته سرد شوند، اتم های حل شده به محل های معینی در شبکه حرکت می کنند. این ساختار را محلول جامد منظم می گویند.

#### ۳-۸-۴-۱- واکنش یوتکتوئید

این واکنش شباهت زیادی به واکنش یوتکتیک دارد با این تفاوت که در واکنش یوتکتوئید، مذاب حضور نداشته و واکنش در حالت جامد می باشد. در این واکنش جامد اولیه به دو جامد دیگر تبدیل می شود. نمودار فازی این واکنش در شکل زیر نشان داده شده است. در شکل زیر نقطه M را نقطه یوتکتوئید می نامند.

#### ۴-۴-۸-۱- واکنش پری تکتوئید

واکنش پری تکتوئید از ترکیب دو جامد و تشکیل دو جامد دیگر حاصل می شود. این تحول زیر از جمله تحولات در حالت جامد می باشد. نمودار تعادلی این تحول در شکل زیر نشان داده شده است.



نکته ۹: در جدول زیر واکنش های مهم و معثاله عمومی آن ها آورده شده است. توشیه می شودکه این معادلات را برای حل تستها به خاطر بسپارید.

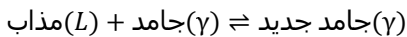
منوتکتیک	
یوتکتیک	جامد ۲ + جامد ۱ $\rightleftharpoons$ مذاب
یوتکتوئید	جامد ۳ + مذاب ۲ $\rightleftharpoons$ جامد ۱
پری تکتیک	جامد جدید $\rightleftharpoons$ جامد ۱ + مذاب
پری تکتوئید	جامد جدید $\rightleftharpoons$ جامد ۲ + جامد ۱

#### ۹-۱- ساختار شبکه آهن

آهن فلزی آلوتروپیک است و بسته به دما بیش از یک ساختار دارد. اگر آهن در دمای ۱۵۳۵ درجه سانتیگراد منجمد شود ساختار b.c.c با نام دلتا  $\delta$  دارد. با کاهش دما در ۱۳۹۴ درجه سانتیگراد ساختار f.c.c را خواهیم داشت که گاما  $\gamma$  نام دارد. در دمای ۹۱۰ درجه سانتیگراد آهن گاما به آهن بتا با ساختار b.c.c غیر مغناطیسی مبدل می شود و سرانجام در دمای ۷۶۸ درجه سانتیگراد، آهن آلفا  $\alpha$  با شبکه b.c.c را داریم.

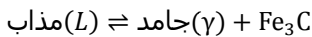
#### ۱۰-۱- ترکیب آهن - کاربید آهن $Fe_3C$

در این فرآیند محصولات مختلف تحت شرایط مختلف خواهیم داشت. این فرآیند ها را به شکل زیر داریم:  
در دمای ۱۴۹۳ درجه سانتیگراد فرآیند پری تکتیک رخ می دهد یعنی داریم:



جامد  $\gamma$  را در ترکیب فوق آستنیت می گویند.

در دمای ۱۱۴۷ درجه سانتی فرآیند یوتکتیک رخ می دهد یعنی داریم:



ترکیب  $\gamma + Fe_3C$  را **لدبوریت** نیز می نامند.

در دمای ۷۲۳ درجه سانتی گراد فرآیند یوتکتوئید رخ می دهد یعنی داریم:



ترکیب  $\alpha + Fe_3C$  را **پرلیت** می نامند. به عبارتی دیگر در این حالت آستنیت تبدیل به پرلیت می شود.

☑ نکته ۲۴: در زیر دمای یوتکتوئید که همان ۷۲۳ درجه سانتی گراد می باشد آلیاژهای آهن-کربید، مخلوطی از فریت و سمنتیت می باشند.

☑ نکته ۲۵: درصد اتمی کربن در ترکیب آهن و کربن را به شکل زیر می توان محاسبه نمود:

$$\text{درصد اتمی کربن} = \frac{\text{اتم های کربن}}{\text{اتم های عناصر آلیاژی} + \text{اتم های آهن} + \text{اتم های کربن}} \times 100$$

☑ نکته ۲۶: آهن  $\alpha$  خاصیت آهن ربایی دارد ولی آهن  $\gamma$  خاصیت آهن ربایی ندارد.

☑ نکته ۲۷: میزان حلالیت کربن در ساختار F.C.C آهن نسبت به دیگر ساختارها بیشتر است.

☑ نکته ۲۸: در ساختار سمنتیت، که یک هشت وجهی است، در رأس اتم های آهن و در مرکز هر کدام یک اتم کربن وجود دارد.

### ۱-۱۰-۱- دماهای بحرانی

در نمودار آهن کربن، دماهای بحرانی و به عبارت دیگر، فصل مشترک نواحی در نمودارها به عنوان مثال فصل مشترک ناحیه دوفازی فریت-آستمیت و یا سمنتیت-آستنیت از نظر عملیات حرارتی اهمیت زیادی دارند.

### ۱-۱۰-۲- کاربیدها

فاز کاربید در فولاد تنها فقط توسط فلزاتی که در جدول تناوبی عناصر در سمت چپ و پایین آهن هستند تشکیل می شود. همانند آهن فلزات یاد شده جزو گروه عناصر واسطه هستند. کاربیدها به دو گروه تقسیم می شوند که اگر  $M$  را معرف یکی از عناصر واسطه در نظر بگیریم، عبارت اند از:

- کاربیدهای گروه یک که در آن  $M$  دارای ضرایب بیش از ۲ می باشد. مانند:  $M_6C$ ,  $M_7C_3$
- کاربیدهای گروه دو که در آن  $M$  دارای ضرایب ۱ یا ۲ می باشد. مانند:  $MC$ ,  $M_2C$

### ۱-۱۱- فولادهای آلیاژی

فولاد آلیاژی فولادی است که خواص مشخصه آن از عناصر دیگری غیر از کربن ناشی می شود. فولادهای کربنی ساده که مقداری منگنز و سیلیسیم برای اکسید زدایی به آن اضافه شده است را نمی توان فولاد آلیاژی نامید. هدف از آلیاژی کردن فولاد، افزایش سختی پذیری، افزایش استحکام در دماهای معمولی، افزایش خواص مکانیکی، افزایش چقرمگی و مقاومت سایشی، افزایش خواص مغناطیسی و ... می باشد.

تست: شبکه کریستالی  $\gamma$  و  $\beta$  به ترتیب کدام است؟ (سراسری ۸)

(۱) bcc-fcc (۲) hcp-fcc (۳) fcc-اورترومبیک (۴) اورترومبیک-fcc

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

تست: کدام تحول آلوتروپیک است؟

(سراسری ۸۰)

(۴) مینیمم

(۳) منوتکتیکی

(۲) پری نکتوئیدی

(۱) پری تکتیکی

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

### ۲-۱-۲ فازها و ساختارهای تعادلی

#### ۲-۱-۱-۲ تحول یوتکتوئیدی

قبلا در نمودار آهن-کربن در رابطه با این تحول بحث شد. تحول یوتکتوئید در زیر دمای ۷۲۷ درجه سانتیگراد و در یک گستره وسیعی از دما رخ می دهد.

#### ۲-۱-۲-۲ ساختار پرلیت

باتوجه به اینکه پرلیت در یک گستره وسیعی از دما تشکیل می شود، فواصل بین لایه ای یکسان نیست. اگر این فرآیند در دمای ثابت انجام می شد، فواصل نیز یکسان می شد.

تشکیل پرلیت از  $\gamma$  بوسیله جوانه زنی و رشد انجام می شود. اگر  $\gamma$  همگن باشد، جوانه زنی در مرز و اگر غیرهمگن باشد، علاوه بر مرز در داخل دانه نیز جثانه زنی رخ خواهد داد. جوانه زنی در مرزها به خاطر زیاد بودن انرژی و بی نظم بودن است. ابتدا جوانه  $Fe_3C$  زده می شود و در اطراف آن شرایط تشکیل جوانه  $\alpha$  بوجود می آید و به طور متناوب لایه های فریت و  $Fe_3C$  حاصل می شود.

#### ۲-۱-۳-۳ تاثیر زمان بر سرعت تشکیل پرلیت

تاثیر زمان بر سرعت تشکیل پرلیت را با رابطه زیر می توان بیان کرد:

$$f(t) = 1 - e^{\left(-\frac{NG^3t^4}{3}\right)}$$

در رابطه فوق  $F(t)$  حجم جزئی پرلیت تشکیل شده،  $N$  سرعت جوانه زنی،  $G$  سرعت رشد و  $t$  زمان می باشد. زمان با افزایش دما زیاد می شود و بلعکس.

#### ۲-۱-۴ فازهای پرویوتکتوئید

فریت و سمنتیت که قبل از تحول  $P \rightarrow$  تشکیل می شود به فریت پرویوتکتوئید و سمنتیت پرویوتکتوئید موسوم است. می توان قطعه ای با میکروساختار صد در صد پرلیت - با درصد کربن برابر ۷۷ درصد - و قطعه ای با میکروساختار صد در صد فریت - با درصد کربن کمتر از ۲ درصد - بدست آورد. در فولد هایی که درصد کربن کمتر از ۰.۴ باشد مقدار فریت پرویوتکتوئید بیشتر است و اگر بیشتر از ۰.۴ درصد کربن باشد، مقدار پرلیت آن بیشتر است.

#### ۲-۱-۵ فریت ویدمن اشتاین

در صورتی که فاز  $\alpha$  پرویوتکتوئید بصورت غیر تعادلی یا نسبتاً سریع سرد شود به جای تشکیل  $\alpha$  هم محور،  $\alpha$  به صورت فاز سوزنی شکل تشکیل می شود که به آن فریت وید من اشتهای می گویند. مکانیزم تشکیل فریت ویدمن اشتهای برشی است. جوانه های  $\alpha$  که بوجود می آیند، دو نوع هستند:

۱. مرز منظم

۲. مرز نامنظم

## ۲-۲-۲- سختی

عملیات حرارتی جهت تشکیل مارتنزیت روی فولدهایی انجام می شود که حداقل ۰.۲ درصد کربن داشته باشند. استحکام بالای مارتنزیت عمدتاً به دو دلیل زیر می باشد:

۱. کربن موجود در شبکه که به صورت محلول جامد فوق اشباع است.

۲. ساختار فرعی که در حقیقت همان چگالی بالایی از نابجایی ها و دوقلوها است.

عوامل موثر بر سختی یک قطعه کوئینچ شده عبارت اند از:

۱. **درصد کربن**: مهمترین عامل در سختی به شمار می رود. هرچه درصد کربن بیشتر شود، سختی نیز زیادتر می شود.

۲. **اندازه دانه های  $\gamma$** : هرچه اندازه دانه های  $\gamma$  ریزتر باشد، بسته های مارتنزیت هنگام کوئینچ بدست آمده ریزتر و سختی بالاتری دارند.

۳. **پدیده پیر شدن**: این پدیده در حد فاصل دو محید گرم و سرد در زمان سرد کردن اتفاق می افتد و علت آن دیفوزیون کربن و رسوب ذرات  $Fe_3C$  بر روی نابجایی ها و مرز دانه ها می باشد.

## ۲-۳- سختی پذیری

قابلیت مارتنزیت شدن و عمق نفوذ مارتنزیت یا ضخامت لایه مارتنزیت را سختی پذیری گویند. سختی عمدتاً به درصد کربن بستگی دارد و سختی پذیری به عناصر آلیاژی بستگی دارد. پس اگر فلزی سختی بالایی داشته باشد دلیلی ندارد که سختی پذیری بالایی نیز داشته باشد. عوامل موثر بر سختی پذیری عبارت اند از:

۱. **درصد کربن**: اگر کربن به صورت محلول در  $\gamma$  باشد، با افزایش درصد کربن سختی پذیری افزایش می یابد.

۲. **درصد عناصر آلیاژی**: عناصر آلیاژی به غیر از Co (کبالت) اگر در دمای آستینتیه کردن به صورت محلول در  $\gamma$  باشند، سختی پذیری را افزایش می دهند چون عناصر آلیاژی آهننگ جوانه زنی و رشد پرلیت را کم می کند. اما در صورتی که این عناصر به صورت محلول نباشند، سختی پذیری فولاد ساده کربنی بیشتر از فولاد آلیاژی می شود. از طرفی عدم انحلال رسوبات کاربید باعث کاهش درصد وانادیم و کربن فولاد شده و منجر به کاهش بیشتر سختی پذیری می شود.



۳. **ناخالصی ها و آخال :** حضور ناخالصی ها و آخال موجب کاهش سختی پذیری می شود. زیرا این ناخالصی ها به عنوان مرکز جوانه زینی در تشکیل پرلیت، تشکیل آن را تشدید خواهند کرد. ناخالصی ها از رشد دانه های  $\gamma$  نیز جلوگیری می کند.

۴. **اندازه دانه های  $\gamma$  :** هرچه دانه های  $\gamma$  درشت تر باشند، سختی پذیری افزایش می یابد. در یک فولاد با دانه ریز تشکیل پرلیت سریعتر انجام شده و سختی پذیری کاهش می یابد. البته افزایش سختی پذیری از این روش چندان مطلوب نیست چون دانه درشت شدن موجب ترد شدن و کاهش انعطاف پذیری می شود. همچنن در فلزات درشت دانه ناشی از سریع سرد شدن و تنش ناشی از عملیات حرارتی موجب بروز ترک هایی در قطعه می شود.

۵. **همگن بودن میکرو ساختار :** در حالت کلی هرچه ساختار همگن تر باشد، سختی پذیری فولاد نیز بیشتر خواهد شد. در فولاد های حاوی عناصر کاربید زا، در صورتی که کاربید به طور یکنواخت حل نشود، سختی پذیری در نقاط مختلف قطعه متفاوت است. این عیب را می توان با افزایش دما یا زمان در آستینته کردن برطرف کرد.

#### ۴-۲- باز پخت

حرارات دادن فولاد پس از سرد شدن تا دمایی معین و سپس یرد کردن آهسته آن تا دمای اتاق را بازپخت می گویند. دما و زمان به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. ترکیب شیمیایی فولاد

۲. ابعاد قطعه

۳. خواص مکانیکی مورد نظر

☑ نکته ۱: زمان و درجه حرارت بازگشت باید به گونه ای باشد که سختی و استحکام افت چندانی نکند.

☑ نکته ۲: در برخی فولادها فرآیند فوق منجر به کاهش تافنس و افزایش سختی می شود.

☑ نکته ۳: ساختار بازپخت نشده غیر تعادلی است.

#### ۵-۲- تمپر کردن

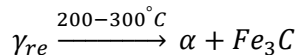
هدف از تمپر کردن در نهایت افزایش چقرمگی و مقاومت فولاد در برابر ضربه می باشد. تمپر کردن یا حرارت دادن دارای مراحل زیر می باشد:

۱. کاهش درصد کربن  $M$  تا  $0.25$  درصد.

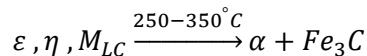
$$M_{HC} \xrightarrow{100-250^{\circ}C} \varepsilon, \eta, M_{LC}$$

در این مرحله سختی کمی افزایش می یابد.

۲. اگر فولاد کوئینچ شده بیش از یک درصد کربن داشته باشد، آستنیت باقیمانده در دمای  $200$  تا  $300$  درجه سانتیگراد به فریت و سمنتیت تبدیل می گردد.



۳.  $\epsilon, \eta, M_{LC}$  در دمای ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد به فریت و سمنتیت تبدیل می گردد. یعنی سختی افت پیدا می کند.



### ۲-۷- سرد کردن هم زمان

این روش که پس از آستینته کردن و کوئینچ کردن نمونه انجام می پذیرد با توجه به اینکه نمونه تا چه دمایی بالا برده شده و به چه شکلی سرد شود، به سه روش زیر انجام می گیرد:

۱. آستمپرینگ: ساختار نهایی در این الت بینیت پایین می باشد.
۲. مارتمپرینگ: در این حالت ساختار نهایی، مارتنزیت تمپر شده می باشد.
۳. مارتمپر اصلاح شده.

### ۲-۸- سخت کردن سطحی

بسیاری از قطعات فولادی را می توان به نحوی عملیات حرارتی کرد که در پایان دارای مجموعه خواص بالا باشند، یعنی در حالی که از مقاومت به سایش خوب برخوردارند، دارای استحکام دینامیکی خوبی نیز باشند. این نوع عملیات حرارتی به سخت کردن سطحی موسوم است که باید در آخرین عملیات ساخت قطعه انجام گیرد. عملیات حرارتی عمدتاً دو نوع اند. عملیات حرارتی که موجب تغییر در ترکیب شیمیایی سطح فولاد می شود که به عملیات ترموشیمی موسوم است و عملیاتی که بدون تغییر ترکیبات شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی انجام می پذیرد.

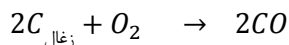
### ۲-۹- کربن دهی

اگر فولاد کم کربن در مجاورت مواد کربن ده مانند زغال و در رجه حرارت بالا قرار گیرد، از ماده کربن ده ، کربن به ساختار فولاد اضافه می شود. این فرآیند نیاز به زمان زیادی دارد ولی در طول این زمان، مقدار قابل ملاحظه ای کربن جذب سطح فولاد می شود. در این حالت سطح فولاد، پرکربن شده و سختی زیادی دارد ولی مغز آن کم کربن بوده و چقرمگی بالایی دارد.

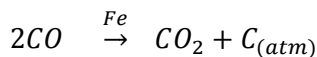
#### ۲-۹-۱- کربن دهی پودری

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 از جنس فولاد نسوز است، به نحوی بسته بندی می کنند که فاصله بین قطعات در حدود ۵۰ میلی متر باشد. سپس جعبه را ایزوله کرده و آن را تا دمای کربن دهی که بین ۸۷۵ تا ۹۲۵ سانتی گراد است حرارت می دهند و برای مدت زمان مشخصی در این دما قرار می دهند. با افزایش دما میزان ضخامت لایه سطحی کربن دار شده افزایش می یابد.

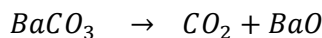
در این روش در مرحله اول مونوکسید کربن تولید می شود:



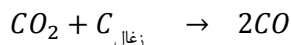
در سطح فولاد گاز مونوکسید کربن تجزیه شده و تولید کربن اتمی می کند.



در این حالت کربن آزاد شده به صورت بین نشینی در فولاد حل می شود. نقش مواد انرژی زا افزایش نرخ کربن دهی است. یکی از این مواد کربنات باریوم ( $BaCO_3$ ) است که در دمای کربن دهی بر اساس واکنش زیر تجزیه می شود.



دی اکسید تولید شده نیز با ذغال واکنش داده و تولید مونوکسید کربن می کند.



مجدداً مونوکسید کربن، کربن آزاد کرده و واکنش کربن دهی به فولاد را تسریع می بخشد.

☑ نکته ۴: هرچه دما افزایش یابد، مونوکسید حاصله بیشتر شده و نرخ کربن دهی نیز افزایش می یابد.

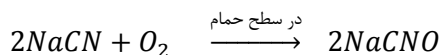
☑ نکته ۵: قطعات فولاد کربن دهی شده را به سرعت سرد نمی کنند چون امکان شکسته شدن آن ها بالا رفته و یا امکان عدم دستیابی به سختی مورد نظر زیاد می شود. یکی از دلایل ترد بودن آن دانه دشت شدن فولاد در اثر زود سرد شدن و بروز تنش های پس ماند حرارتی در قطعه است.

☑ نکته ۶: یکی از روش های سرد کردن فولاد کربن داده شده بدون ترد شدن، آستنیته کردن و سپس سرد کردن آن می باشد. برای سرد کردن یا از هوای آزاد استفاده می شود یا از روغن.

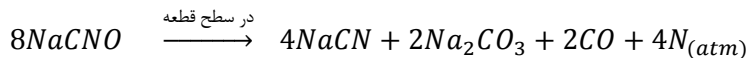
☑ نکته ۷: در قطعات با شکل هندسی پیچیده، پس از حرارت اولیه و آستنیته کردن آن را در مجاورت هوا سرد می کنند. سپس مجدداً آستنیته کرده و این بار در روغن سرد می کنند.

## ۲-۹-۲- کربن دهی مایع

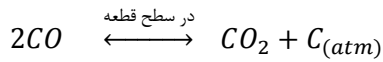
کربن دهی مایع در مذاب مخلوط نمک های سیانید سدیم، کربنات سدیم و مقادیر متناهی از کلرید سدیم و یا کلرید باریوم انجام می شود. کربن دهی مایع را معمولاً برای قطعات کوچک که نیاز به ضخامت لایه سطحی کمی داشته باشند، به کار می رود. مکانیزم کربن دهی در این حالت به شکل زیر می باشد که در ابتدا سیانید سدیم در سطح حمام با اکسیژن ترکیب شده و بر طبق واکنش زیر به سیانات سدیم تبدیل می شود.



سیانس سیانات حاصل در تماس با سطح فولاد بر اساس واکنش زیر تجزیه می شود.



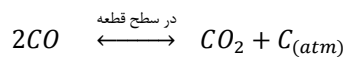
گاز مونواکسید کربن در سطح فولاد تجزیه شده و کربن آزاد می کند. کربن . نیتروژن به صورت بین نشینی در سطح فولاد حل می شود.



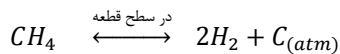
☑ نکته ۸: درصد کربن و نیتروژن جذب شده توسط فولاد بستگی به ترکیب شیمیایی حمام و دمای آن دارد.

### ۳-۹-۲- کربن دهی گازی

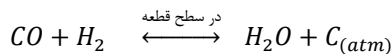
این روش، نسبتاً جدید می باشد و به عنوان اقتصادی ترین و سریع ترین روش کربن دهی برای تولید انبوه شناخته شده است. برای حالتی که سطح کربن دهی با ضخامت کم مورد نظر باشد، این روش از مزیت زیادی برخوردار است. دقت کربن دهی در این روش بسایر بالا است. در کربن دهی گازی، قطعات را در ۹۰۰ درجه سانتی گراد برای مدت ۳ تا ۴ ساعت در محیطی که شامل گاز یا گازهایی باشند که بتواند در سطح فولاد تجزیه شده و تولید کربن اتمی کند حرارت می دهند. این از ها معمولاً متان، اتان یا پروپان می باشد. در این روش نیز عامل فعال مونواکسید کربن است که در سطح قطعه کار تولید کربن اتمی می کند.



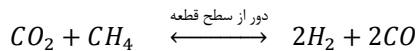
اگر گاز را متان در نظر بگیریم، در اتمسفر گازی به شکل زیر تجزیه می شود.



واکنش آب - گاز نیز می تواند کربن آزاد کند.



تولید مونواکسید کربن نیز به واسطه ترکیب شدن متان و دی اکسید کربن می باشد.



به این ترتیب برای ادامه فرآیند کربن دهی باید درصد مونواکسید کربن در محیط دقیقاً کنترل شود.

### ۱۰-۲- نیتروژن دهی

عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد. در این روش سختی سطح بستگی به نیتريد فلزی تشکیل شده دارد. سختی زیاد برای فولاد های وجود دارد که دارای آلیاژ های آلومینیومف مولبیدن، رو و یا وانادیم باشند تا نیتروژن با آنها تشکیل نیتريد های پایدار بدهد.

☑ نکته ۸: کربن دهی در گستره دمایی پایداری آستنیت انجام می شود.

☑ نکته ۹: نیتروژن دهی در گستره دمایی پایداری فریت انجام می شود.

### ۱۱-۲- کربن - نیتروژن دهی

این روش، یک روش سخت کردن سطح است که در آن نیتروژن و کربن هر دو جذب سطح فولاد می شوند و به ایت ترتیب، نیتروژن جذب شده، سختی کربن داده شده را بیشتر افزایش می دهد. در این روش بر خلاف روش کربن دهی مایع که در آن نیز نیتروژن توسط سطح جذب می شد، از محیط گازی استفاده می شود.

### ۱۲-۲- نیتروژن - کربن دهی

این فرآیند شامل نفوذ هم زمان نیتروژن و کربن به داخل فولاد در گستره دمای پایدار فاز فریت می باشد لذا به نیتروژن - کربن دهی فریتی نیز موسوم است. انجام این فرآیند به دو صورت مایع و گازی امکان پذیر می باشد. از مزایای این روش مقاومت به سایش و ضد پوسته شدن است و نیز هنگام تشکیل قطعه کمترین اعوجاج را در آن به همراه دارد. این موارد به واسطه لایه نازکی از تزکیب کاربو نیتريد افسیلن می باشد که رو قطعه ایجاد می شود.

### ۱۳-۲- سخت کردن شعله ای

در این روش قطعه به کمک یک شعله گازی حرارت داده شده و پس از آستینه شدن بلافاصله سرد می شود. در این حالت نواحی موضعی از قطعه مانند ابزارهای برشی و یا انتها آچار را با شعله حرارت داده سپس تمام قطعه را به سرعت سرد می کنیم. از جمله معایب عمده این روش اکسایش سطح و یا کاهش درصد کربن سطح قطعه می باشد که ناشی از تماس مستقیم قطعه گرم شده با اکسیژن می باشد.

### ۱۴-۲- سخت کردن القایی

اصول این روش مانند سخت کردن شعله ای است. به این صورت که تنها سطح قطعه آستینته شده و سپس سریع سرد می شود. در این روش حرارت دادن سطح به کمک یک سیم پیچ هادی که در آن جریان متناوب با فرکانس زیاد عبور می کند، انجام می شود. به منظور گرم کردن و حرارات دادن قطعات محوری علاوه بر حرکت انتقالی از حرکت دورانی نیز استفاده می شود. سخت کردن سطحی موضعی به روش القایی را توسط هادی هایی مناسب با شکل قطعه می توان انجام داد. در این روش زمان بسیار اندکی برای حرارت دادن توسط جریان های القایی با فرکانس بالا مورد نیاز است.

ارتباط ضخامت پوسته سخت شده و فرکانس جریان به صورت زیر می باشد:

$$\delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu F}}$$

که  $\delta$  عمق نفوذ جریان یا ضخامت پوسته آستینته است.  $\rho$  مقاومت الکتریکی سیم پیچ،  $\mu$  نفوذپذیری مغناطیسی و  $F$  فرکانس جریان می باشد.

☑ نکته ۱۰: در روش سخت کردن القایی، سختی و ضخامت پوسته آستینته بستگی به فرکانس جریان دارد. هرچه فرکانس جریان بیشتر باشد، عمق نفوذ و بنابراین ضخامت پوسته سخت شده کمتر خواهد شد.

(سراسر ۸۰)

تست : کوره حمام نمک با کدام روش اکسیژن گیری می شود؟

۲) کربنات پتاسیم

۱) دهش گار نیتروژن

۴) زغال چوب گداخته

۳) زغال چوب سرد

پاسخ : گزینه ۴ صحیح می باشد.

(سراسر ۸۱)

تست : در سخت کاری سطحی فولاد های ساده محیط خنک کننده معمول کدام است؟

۲) روغن      ۲) هوای آزاد      ۳) محیط سرد      ۴) آب نمک  
پاسخ: گزینه ۱ صحیح می باشد.

تست: در کربوره کردن جامد نقش باریوم  $BaCO_3$  در مخلوط مورد استفاده عبارت است از: (آزاد ۸۳)

- ۱) تجزیه شدن و تامین  $O_2$  و کربن برای محیط
  - ۲) به عنوان یک انرژی زا عمل می کند.
  - ۳) تامین کمبود کربن موجود در محیط کربوره کننده.
  - ۴) ایجاد تعادل بین  $CO$  و  $CO_2$  در محیط.
- پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

### ۱۶-۲- روش های مطالعه ساختمان فلزات

برای مطالعه ساختمان فلزات دو روش زیر وجود دارد:

#### ۱-۱۶-۲- ساختمان ماکروسکوپی (ماکروگرافی)

ساختمان مرئی یا ماکروسکوپی عبارت است از ساختمان فلزات و آلیاژهایی که با چشم غیرمسلح و با بزرگنمایی کمی دیده می شوند. یکی از کاربرد های ماکروگرافی مطالعه مقطع شکست فلزات است که اندازه و ترتیب قرار گرفتن دانه ها، معایب ناپیوسته و غیره را آشکار می سازد.

#### ۲-۱۶-۲- ساختمان میکروسکوپی (میکروگرافی)

میکروگرافی عبارت است از مطالعه ساختمان های فلزات و آلیاژها در زیر یک میکروسکوپ با بزرگنمایی از ۷۵ تا ۱۵۰۰. ساختمان مشاهده شده را ساختمان میکروسکوپی یا نامرئی می گویند. هدف از مطالعه میکروگرافی تعیین اندازه و شکل دانه هایی است که یک آلیاژ را تشکیل می دهند.

#### ۱۷-۲- متالوگرافی

متالوگرافی یا بررسی میکروسکوپی شامل مطالعه میکروسکوپی خصوصیات ساختاری فلز یا آلیاژ است. میکروسکوپ مهمترین ابزار فلز شناسی از نظر علمی و فنی است. با استفاده از میکروسکوپ می توان ریز ساختار فلزات را که مشخص کننده عملیات مکانیکی و گرمایی است را تعیین کرد. موفقیت در مطالعات میکروسکوپی مستلزم داشتن یک نمونه دقیق می باشد. نمونه را با استفاده از ابزار مناسب آماده و دقت سطح آن را با روش های مختلف بالا می برند. یکی از این کارها که بعد از پولیش انجام می شود، اچ کردن (حکاکی) می باشد که با استفاده از محلول های مختلفی انجام می گیرد.

#### ۱۸-۲- اچ کردن

پس از صیقلی کردن نمونه، توسط یک محلول شیمیایی استاندارد، اچ می شود. اچ کردن سبب می شود تا طرح دانه ها به روشی نمایان شده و امکان می دهد که دانه ها در آزمایش ماکروسکوپی از هم تشخیص داده شوند.

### ۱۹-۲- محلول های اچ برای فلزات (ساختار میکروسکوپی)

محلولها برای فلزات مختلف در جدول زیر ارائه شده اند.

الف) محلول نیتال ( ۱ تا ۵ درصد اسید نیتیک و بقیه متیل الکل) ب) محلول پیکرال ( ۴ گرم اسید پیکرات + ۱۰۰ میلیگرم متیل الکل) ج) کلرید آهن (کلرورفریک و اسید هیدروکلریک)	فولاد چدن
الف) هیدروکسید آمونیوم - پیروکسید هیدروژن ب) اسید کرومیک (محلول رقیق اشباع شده $CrO_3$ )	مس و آلیاژهای آن
الف) اسید فلئوئوریدریک (۰.۵ میلی لیتر کلرور فریک + ۸۸.۵ میلی لیتر آب) ب) هیدروکسید سدیم ( ۱۵ گرم سود + ۸۵ میلی گرم آب)	آلومینیوم و آلیاژهای آن
گلیکول (۷۵ میلی لیتر اتیلن + ۲۴ میلی لیتر آب + ۱ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ)	منیزیم و آلیاژهای آن
الف) محلول یکنواخت از اسید نیتریک و اسید استیک ب) تیزآب سلطانی ( ۵۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ + ۲۵ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ + ۳۰ میلی لیتر آب)	نیکل و آلیاژهای آن
الف) نایتال ( ۲ تا ۵ سی سی اسید نیتریک + ۹۵ تا ۹۸ سی سی الکل ) ب) اسید سیتریک پراکسید ( ۵۰ سی سی استیک + ۵۰ سی سی آب اکسیژنه)	قلع
الف ( نایتال ۱ تا ۲ درصد) ب) اکسید کرومیک ( ۵ گرم اسید کرومیک + ۰.۵ گرم سولفات سدیم + ۱۰۰ سی سی آب + ۱ تا ۲ سی سی اسید نیتریک)	روی

### ۲۰-۲- محلول های اچ برای فلزات ریختگی غیر آهنی (ساختار ماکروسکوپی)

محلولها برای فلزات مختلف در جدول زیر ارائه شده اند.

اسید کلریدریک و الکل ( ۵ سی سی اسید + ۹۵ سی سی الکل متیلیک)	قلع
نایتال ( ۹۵ درصد الکل متیلیک + ۵ درصد اسید نیتریک)	روی
الف) نایتال ( ۵ تا ۲۰ سی سی اسید نیتریک + ۸۰ تا ۹۵ درصد استیک یا الکل متیلیک) ب) ۲۰ سی سی اسید استیک + ۵ گرم نیترات سدیم + ۸۰ سی سی آب ج) پیکرال ( ۱۰ سی سی اسید استیک + ۶ گرم اسید پیکریک + ۱۰۰ سی سی الکل)	منیزیم

آلومینیوم	الف) ۲۰ سی سی اسید کلریدریک + ۵ سی سی فلوریدریک + ۶۰ سی سی آب ب) کلرور مس (۱۵ گرم کلرور مس + ۱۰۰ سی سی آب)
مس	الف) ۱۰ تا ۵۰ سی سی اسید نیتریک + ۵۰ تا ۹۰ سی سی آب ب) ۱۰ گرم کلرور فریک اسیدی + ۲۵ سی سی اسید کلریدریک + ۱۰۰ سی سی آب ج) ۴۰ سی سی اسید نیتریک + ۱۰ سی سی اسید کلریدریک + ۵۰ سی سی آب
قلع	الف) نایتال ( ۲ تا ۵ سی سی اسید نیتریک + ۹۵ تا ۹۸ سی سی الکل ) ب) اسید سیتریک پراکسید ( ۵۰ سی سی استیک + ۵۰ سی سی آب اکسیژنه)
روی	الف ( نایتال ۱ تا ۲ درصد ) ب) اکسید کرومیک ( ۵ گرم اسید کرومیک + ۰.۵ گرم سولفات سدیم + ۱۰۰ سی سی آب + ۱ تا ۲ سی سی اسید نیتریک)

انواع محلول های اچ کردن ماکروسکوپی برای چدن ها را می توان به شکل زیر بیان کرد:  
کلرور مس - کلرور منیزیم - اسید کلریدریک و الکل - محلول آمونیوم پرسولفات  
انواع محلول های اچ کردن میکروسکوپی برای چدن ها و فولادهای کربنی را می توان به شکل زیر بیان کرد:  
پیکرال - نایتال - پیکرات سدیم - اسید کلریدریک ( جوشان )