



آموزشگاه فنی و حرفه‌ای پسران دورود

علم مواد

تهیه و تنظیم :

داود توکلی

فوق لیسانس مهندسی مواد (شناسایی و انتخاب مواد فلزی)

فصل اول: ساختار داخلی مواد

علم مواد: بررسی تاثیر ساختار درونی بر خواص مکانیکی و فیزیکی و شیمیایی مواد را علم مواد می گویند. هدف از مطالعه این درس 1- آشنایی با این مفهوم که مواد دارای ساختار داخلی هستند و بسیاری از خواص وابسته به ساختمان داخلی آنهاست 2- آشنایی با انواع مواد و بیان ویژگیهای اصلی هر گروه به طور خلاصه 3- یاد آوری و مرور آن قسمت از شیمی عمومی که به ساختمان اتم و پیوند بین اتمها مربوط است. بسیاری از خواص مواد وابستگی زیادی به ساختار اتمی و آرایش اتمی و نوع پیوند آنها دارند. از این جهت لازم است که پس از تقسیم بندی انواع مواد ساختار اتمی و نوع پیوند موجود بین اتمها عناصر به طور خلاصه یاد آوری می گردد. بنابراین هدف کلی از مطالعه این درس جلوگیری و پیشگیری از خطرات احتمالی و استفاده بهینه از مواد است.

1-1 تقسیم بندی مواد (انواع مواد)

مواد به طور کلی به سه دسته اصلی تقسیم بندی می شوند. علاوه بر آن گروه چهارمی نیز وجود دارد که از سه گروه اصلی دیگر گرفته شده است که عبارتند از: 1- مواد فلزی 2- مواد غیر فلزی (سرامیکها) 3- مواد مصنوعی (پلاستیکها) 4 - مواد مختلف یا کامپوزیتها.

مواد فلزی: مواد فلزی با توجه به اهمیتی و کاربردی که در صنعت دارند به دو گروه آهنی و آلایژهای آن و فلزات غیر آهنی و آلایژهای آن تقسیم بندی می شوند. که فلزات آهنی و آلایژهای آنها شامل درصد نسبتا بالایی از آهن و عناصر دیگر مانند (کربن. سیلیسیم. منگنز. فسفر. گوگرد.....) که تمام فولادها و چدنها را شامل میگردند و فلزات غیر آهنی شامل تمام فلزات دیگر بجز آهن مانند (آلومینیوم. مس. روی. قلع. سرب. طلا. نقره) و آلایژهای آنها.

خصوصیات فلزات: مواد فلزی عمدتا هادی خوبی برای جریان الکتریسیته و حرارت میباشد. در درجات حرارت معمولی محیط قابلیت شکلپذیری دارند و در برابر عوامل و واکنش های شیمیایی پایداری بالایی

ندارند. فلزات در مقابل نور کدرند ولی می توان آنها را صیقل داد و براق نمود . فلزات دارای ساختمان کریستالی میباشند.

مواد غیر فلزی یا سرامیک ها: قسمت عمده مواد غیر فلزی معدنی را سرامیکها تشکیل میدهند. سرامیک ها ترکیبی از عناصر فلزی و غیرفلزی هستند که ترکیبی از عناصر فلزی با اکسیژن به نام سرامیک های اکسیدی (مانند MgO) و موادی سخت از قبیل کاربیدها نیتريد ها و سیلیسید ها به نام سرامیک های غیراکسیدی که قسمت عمده ای از مواد نسوز و دیر گدازها را تشکیل میدهند. سرامیک های سیلیکاتی یا چینی نوع دیگری از سرامیک ها میباشند.

خصوصیات سرامیک ها: سرامیک ها قابلیت شکل پذیری نداشته و ترد و شکننده میباشند و قطعات سرامیکی به روش های پرس اکستروژن و یا طرق مختلف سفال گری ساخته میشوند مواد سرامیکی در مقایسه با فلزات میتوانند درجه حرارت های بالاتری را تحمل نمایند و همچنین عایق های بهتری هستند بنابراین بعضی از انواع آنها میتوانند در ساخت کوره های ذوب فلزات و پاکوره های صنعتی مورد استفاده قرار گیرند. مواد سرامیکی در مقابل واکنش های شیمیایی بسیار پایدار بوده و دارای مقاومت به خوردگی و سایش بالایی میباشند. مواد سرامیکی دارای ساختمان کریستالی - غیر کریستالی و یا مخلوطی از هر دو نوع میباشد .

3- پلاستیک ها:

مواد آلی هستند که از کنار هم قرار گرفته ملکول های شبکه ای بزرگ مواد آلی که از کربن عناصر دیگر مانند هیدروژن - نیتروژن - کلر - فلوئور اکسیژن تشکیل شده اند بوجود می آید. پلاستیکها به دو دسته ترموپلاستیک و ترموست تقسیم می شوند.

خصوصیات پلاستیک ها:

دارای ساختمان غیر کریستالی و پامخلوطی از کریستال و غیر کریستال میباشد قابلیت هدایت الکتریکی بسیار ضعیف دارند به طوری که به عنوان یک عایق الکتریکیه خوب به کار میرود و در دجه حرارت پایین (زیر صفر) ترد و شکننده میشوند و در دجه حرارت های متوسط قابل شکل پذیری به روش اکستروژن و نورد را دارند و در دجه حرارت های بالا ذوب میشوند. در مقابل عوامل واکنش های شیمیایی در دجه حرارت هایی معمولیه محیط پایداریند حتما دارای وزن مخصوص پایینی هستند

کامپوزیت ها: کامپوزیت ها اختلاط ماکروسکپی دو یا چند ماده با خواص متفاوت میباشد که به منظور بهبود و اصلاح ماده زمینه و رفع نواقص ماده که اغلب اوقات تقویت کننده ها نامیده میشوند ساخته میشوند. خواص کامپوزیت: استحکام حرارتی خوب خواص ویژه سطح مقاومت خوب در برابر سرما پایداریه بالا در مقابل رطوبت و خوردگی و عایق مناسب برای جریان الکتریسیته

اتم و انواع پیوندها

اتم کوچکترین واحد تشکیل دهنده یک عنصر شیمیایی است که خواص منحصر به فرد آن عنصر را حفظ می کند. در آزمایش ها مشخص گردید که اتم ها نیز خود از ذرات کوچکتری ساخته شده اند. در مرکز یک هسته کوچک مرکزی مثبت متشکل از ذرات هسته ای (پروتون ها و نوترون ها) و بقیه اتم فقط از پوسته های متموج الکترون تشکیل شده است. معمولا اتم های با تعداد مساوی الکترون و پروتون ، از نظر الکتریکی خنثی هستند. طبیعت بین اتم ها و یون های عناصر، پیوندهایی شیمیایی برقرار می شود تا مولکول ها یا ترکیب هایی از عناصر ساخته شود. دانشمندان این پیوندهای شیمیایی را به ۳ نوع تقسیم می کنند.

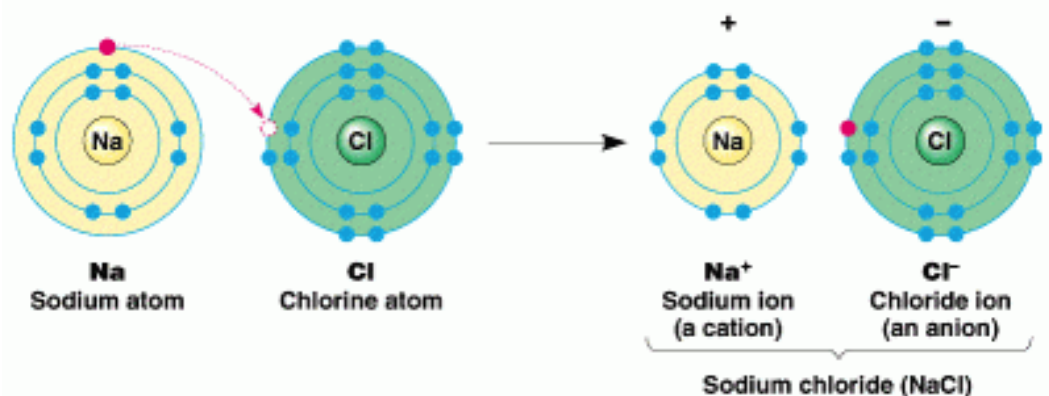
انواع پیوندهای شیمیایی:

1. پیوندهای یونی یا الکترووالانس
2. پیوندهای کووالانسی
3. پیوندهای فلزی

1- پیوند یونی یا الکترووالانس:

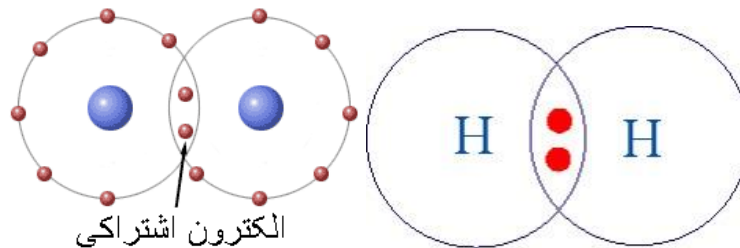
زمانی که اتمی در لایه آخر خود ۸ عدد الکترون داشته باشد اصطلاحاً می‌گوییم به حالت پایدار رسیده است و واکنش پذیری کمی دارد. در طبیعت تنها گازهای نجیب هستند که به طور طبیعی این وضعیت را دارند و سایر اتم‌ها تمایل دارند با دادن و گرفتن الکترون به این پایداری برسند. مبادله الکترون با پیوند یونی یا الکترووالانس صورت می‌گیرد. پیوند یونی بین یک فلز و یک نافلز ایجاد می‌شود. به طور طبیعی فلزات تمایل به از دست دادن الکترون و تشکیل یون مثبت (کاتیون) دارند و در مقابل نافلزها برای رسیدن به حالت پایدار تمایل دارند، الکترون جذب کنند و به یون منفی (آنیون) تبدیل شوند. با تشکیل یون‌های مثبت و منفی و ربایش بارهای ناهمنام، پیوند یونی بین یون‌ها ایجاد می‌شود. نتیجه این تمایلات واکنش فلز با نافلز است.

مثلاً زمانی که گاز کلر و سدیم در مجاورت هم قرار می‌گیرند پیوند یونی بین این دو برقرار می‌شود. کلر برای رسیدن به آرایش الکترونی هشت تایی نیازمند دریافت یک الکترون است و در مقابل سدیم تمایل به از دست دادن الکترون دارد. از این رو داد و ستد الکترونی اتفاق می‌افتد و کلر به یونی با یک بار منفی و سدیم به یونی با یک بار مثبت تبدیل می‌شود. سپس ربایش بارهای ناهمنام، پیوندی یونی بین سدیم و کلر ایجاد می‌کند. حاصل این واکنش ایجاد ترکیب یونی NaCl (نمک) است.



2- پیوند کووالانسی:

هر گاه دو نافلز بخواهند با هم ترکیب شوند دیگر تمایلی به از دست دادن الکترون وجود ندارد و ایجاد پیوند یونی مقدور نیست. در این موارد اتم ها تعدادی از الکترون های لایه آخر خود را به اشتراک می گذارند تا آرایش الکترونی خود را هشت تایی کنند. به پیوند شیمیایی که در اثر به اشتراک گذاشتن الکترون های لایه آخر اتم (لایه والانس) ایجاد می شود، پیوند کووالانسی می گویند. هر پیوند کووالانسی از دو الکترون متعلق به دو اتم تشکیل شده است.

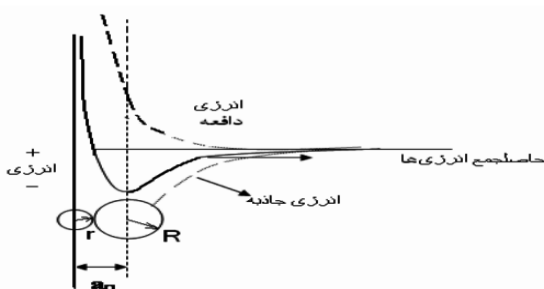


ساده ترین شکل پیوند کووالانسی را می توان در اتم هیدروژن دید. زمانی که دو اتم هیدروژن در مجاورت هم قرار می گیرند، هر یک تمایل به جذب الکترون از دیگری دارند تا به حالت پایدار برسند. از این رو ابر الکترونی دو اتم هم پوشانی پیدا کرده و در یک فاصله تعادلی، یک جفت الکترون به طور همزمان توسط هر دو هسته جذب می شود. بنابراین هر دو اتم به آرایش هشت تایی رسیده و پیوند کووالانسی بین آن ها ایجاد می شود. اگر دو اتم بیش از یک الکترون را به اشتراک بگذارند، پیوند کووالانسی بیشتری ایجاد می شود که بر حسب تعداد الکترون های مشترک، پیوند دو یا سه گانه نامیده می شود.

پیوند بین دو اتم اکسیژن از نوع کووالانسی دوگانه و پیوند بین دو اتم نیتروژن از نوع کووالانسی سه گانه

است. هر چه تعداد پیوندهای کووالانسی بیشتر باشد، قدرت پیوند بیشتر بوده و برای شکستن آن انرژی

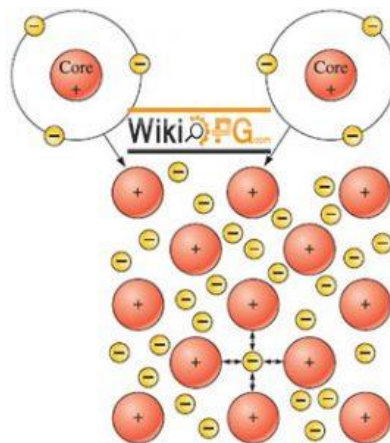
بیشتری مورد نیاز است. فاصله تعادلی : فاصله ایست که در آن فاصله نیروهای جاذبه و دافعه با هم برابری



• شکل فاصله تعادلی دو اتم

3- پیوند فلزی:

این ویژگی ها ناشی از پیوندی در ساختار فلزات است که پیوند فلزی نامیده می شود. الکترون های لایه آخر اتم های فلزی، وابستگی کمی با هسته اتم خود دارند و آزادانه حرکت می کنند. در نتیجه ابر الکترونی ایجاد می شود که به یک اتم تعلق ندارد و یون های مثبت در آن شناورند.

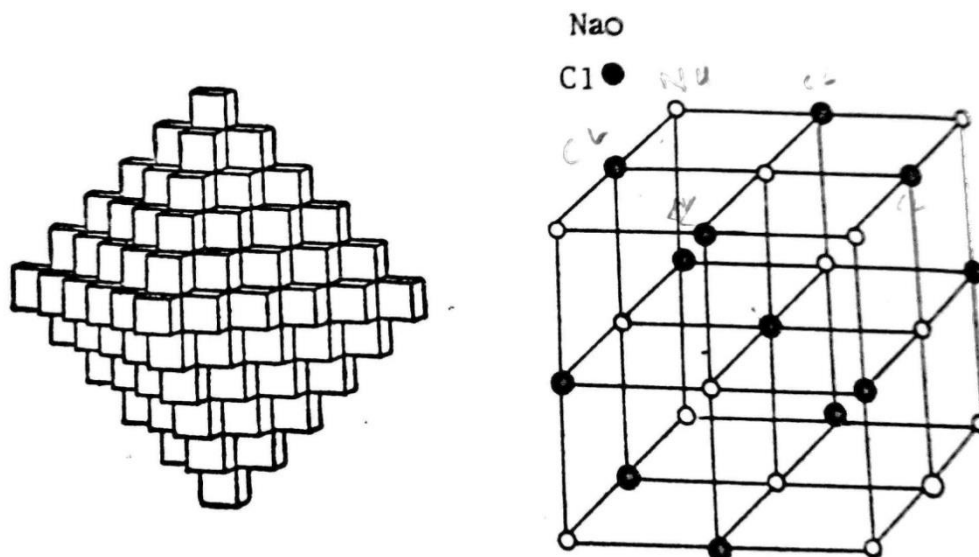


فصل دوم: ساختار (آرایش) اتمی در جامدات :

پس از بررسی ساختمان اتم و پیوند های اتمی قدم بعدی در بررسی ساختار داخلی مواد مطالعه مدلها یا الگو های نظم پر دامنه اتمهاست همانگونه که در مباحث قبل اشاره کردیم خواص فیزیکی و مکانیکی مواد به نوع آرایش و ساختار اتمی و نیز به نوع پیوند بین اتمها ی سازنده آنها بستگی دارد. به عنوان مثال در مورد کربن دو نوع ساختمان اتمی مختلف وجود دارد مانند الماس و گرافیک که سبب پدیدار شدن خواص بسیار متفاوت در آن گردیده است به طور کلی جامدات دارای دو نوع ساختار اتمی می باشد الف- کریستالی ب- غیر کریستالی (آمورف)

ساختار کریستالی: اساسا کلیه فلزات بخش عظیمی از سرامیکها و بعضی از مواد مصنوعی به هنگام انجماد به صورت کریستال (بلور) در می آیند. اگر به هنگام انجماد اتمها با نظم و ترتیب خاصی در کنار یک دیگرند

ساختار کریستالی به وجود می آید. این نظم پر دامنه در داخل شبکه وجود دارد و گاهی شکل ظاهری نظم داخلی کریستال را نشان می دهد مانند سطوح مسطح بلورهای کوارتز و حتی نمک طعام معمولی.



شکل ۱- ساختمان داخلی نمک طعام NaCl و تکراریک واحد مکعبی در سه جهت.

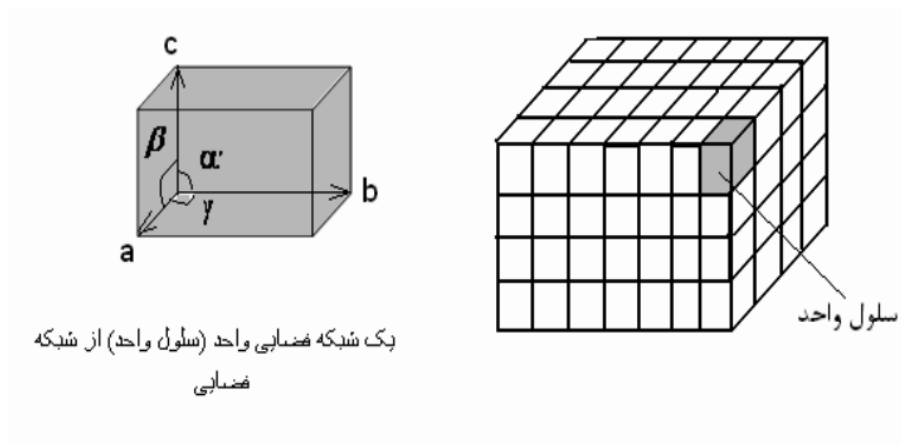
اشکال هندسی منظمی که بنام بلوریا کریستال درمقیاس

ساختار کریستالی و شبکه های فضایی: همان گونه که بیان شد در مواد جامد کریستالی اتمها به هنگام انجماد با نظم و ترتیب و شکل هندسی خاصی قرار می گیرند به طوری که یک شبکه فضایی را به وجود می آورند که در تمام جهات تکرار شده اند.

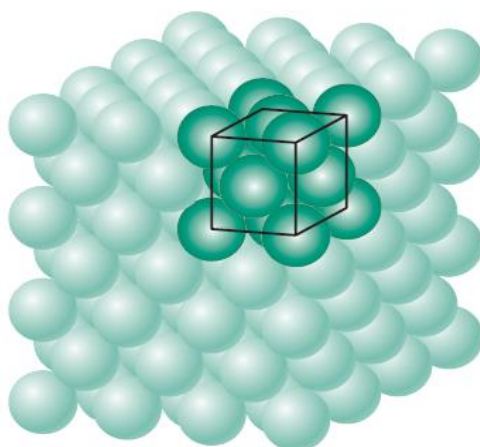
سلولهای واحد سلول اولیه یا شبکه فضایی واحد Unit cell : کوچکترین واحد از این شبکه فضایی را

شبکه فضایی واحد یا سلول اولیه می نامند. این سلول واحد که چگونگی قرار گرفتن اتمها یا یونها نسبت به یکدیگر نشان میدهد می تواند از یک یا چندین اتم تشکیل شده باشد. هر شبکه فضایی را می توان با سه

بردار a b c در امتداد سه محور مختصات $x y z$ و با سه زاویه نشان داده شده



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.



کریستال (بلور): با تکرار متناوب سلولهای واحد در یک شبکه فضایی با مختصات معینی به صورت متراکم در کنار یکدیگر یک کریستال بوجود می آید برای بررسی ساختار داخلی یک کریستال کافی است کوچکترین قسمت یعنی سلول واحد را که تمام ویژگی های یک کریستال را داراست در نظر بگیریم سیستمهای کریستالی: در علم کریستالو گرافی یا بلور شناسی 14 نوع شبکه فضایی واحد برای کریستالها شناخته شده است که می توان آنها را به 7 سیستم کریستالی طبقه بندی نمود که به سیستم برادیس یا براده معروف هستند .

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

شبکه های مکعبی: شبکه های مکعبی یکی از سه شبکه زیر

الف) شبکه ی مکعب ساده (Simple Cubic (SC)

ب) شبکه کریستالی مکعبی مرکزدار (Body Centered Cubic (BCC)

ج) شبکه کریستالی مکعبی با وجوه مرکز دار (Face Centered Cubic (FCC)

یکی دیگر از شبکه شبکه کریستالی فلزات هگزاگونال فشرده Hexagonal Colsed Pack

(HCP) است. فلزات با آرایش اتمی بلوری S.C بلوری نمی شوند زیرا تراکم اتمی آن بسیار کم است

و بیشتر با آرایش f.c.c و b.c.c و hcp متبلور میشوند.

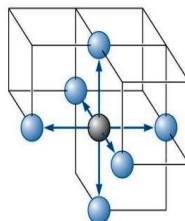
عدد همسایگی در ساختار BCC

تعداد اتم هایی که در همسایگی یک اتم قرار دارند را عدد کوردیناسیون یا عدد همسایگی آن اتم می نامند. در ساختار BCC ، اتم موجود در مرکز با 8 اتم واقع در گوشه های مکعب در تماس است و عدد همسایگی BCC برابر با 8 است عدد همسایگی FCC , HCP برابر با 12 است.

ب- عدد کوردیناسیون (همسایگی)

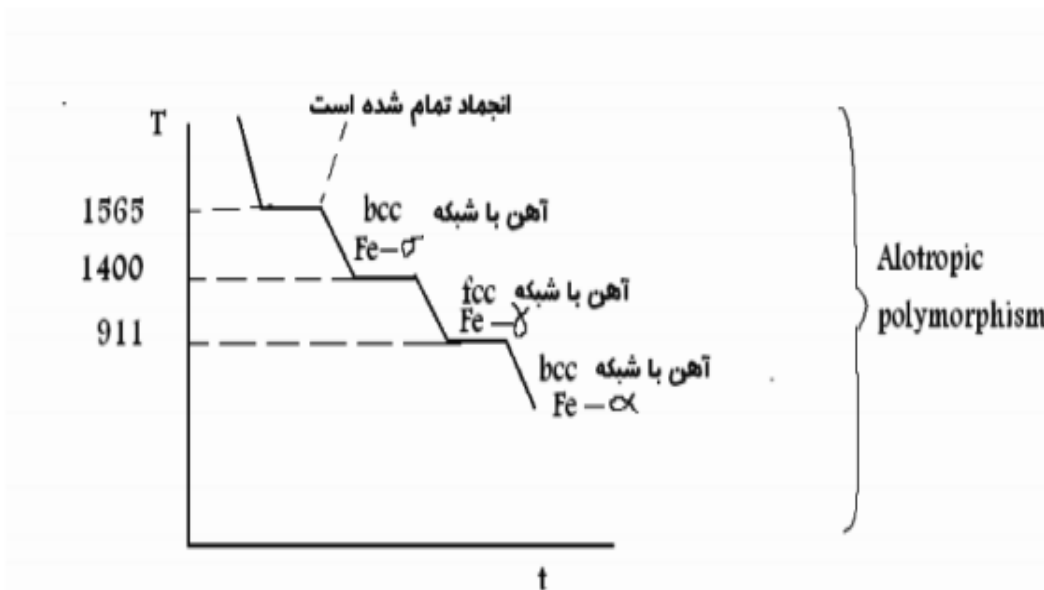
تعداد نزدیکترین اتم های همسایه با فاصله ی یکسان تا هر اتم در شبکه را عدد کوردیناسیون گویند.

$$(C.N)_{SC}=6$$



آلوتروپی (خاصیت چند شکلی بودن)

تغییر شبکه کریستالی با دما یا فشار را خاصیت الوترایی یا چند شکل بودن گویند بسیاری از ترکیبات و عناصر دارای دو یا چند شکل کریستالی یا ملکولی میباشند مانند کربن و آهن که اشنا ترین مثال در این مورد وجود دوگانه کربن به صورت گرافیت الماس است . مثال دیگر برای چند شکلی بودن در مورد فلز آهن است بدین گونه که آهن در درجه حرارت تا 911 درجه سانتی گراد به صورت مکعب مرکز دار میباشد که آهن آلفا نامیده میشود در درجه حرارت های بین 911 درجه سانتی گراد تا 1392 درجه سانتی گراد آهن به شبکه کریستالی مکعب با وجوه مرکز دار یا f.c.c تبدیل میشود که آهن گاما نامیده میشود در درجه حرارت های بین 1392 درجه سانتی گراد تا 1536 درجه سانتی گراد که نقطه ذوب آهن خالص است مجددا آهن با شبکه کریستالی مکعب مرکز دار به نام آهن دلتا تبدیل میشود و در درجه حرارت های بالا تر از 1536 درجه سانتی گراد به صورت مذاب درآمده و در درجه حرارت های بسیار بالاتر از نظر صنعتی مورد نظر ما نمیشد و به بخار تبدیل میگردد و تمام توانایی ما برای عملیات حرارتی روی فولادها و بهبود بخشیدن به خواص آن ناشی از این واقعیت است که اگر آهن گرم شود شبکه آن از b.c.c به f.c.c تبدیل شده و دارای مزایای زیادی میباشد



جهت کریستالو گرافی - صفحه کریستالو گرافی (میلر)

خواص برداری: خواصی هستند که در جهات مختلف جسم متغیر اند مانند سرعت نور انتشار حرارت به عنوان مثال ژرمانیوم که میتواند از یک جهت جریان برق را عبور دهد و از طرف دیگر جریان برق را عبور نمی دهد .

خواص عددی: خواصی هستند که در جهات مختلف جسم متغیر نیستند مانند وزن- نقطه ذوب- وزن مخصوص . اجسام غیر کریستالی یا آمورف دارای خاصیت عددی اند و اجسام کریستالی دارای خواص برداری اند. ساختمان اتمی کریستالها اغلب غیریکنواخت از لحاظ جهات کریستالی می باشد . در اغلب کریستالها بعضی از خواص در جهات مختلف متفاوتند و تابع جهت اندازه گیری می باشند . یک جهت کریستالو گرافی برداری است که ابتدای آن مرکز مختصات انتخابی و انتهای آن جهت مورد نظررا نشان می دهد.

صفحه کریستالو گرافی: در هر سلول واحد از مرکز هر سه اتم میتوان یک صفحه و در هر سلول واحد از مرکز هر دو اتم میتوان یک بردار رسم کرد. تعداد اتم ها موجود در هر واحد سطح تمام صفحات (غیر از صفحات مشابه) با هم برابر نیست . این تعداد متفاوت اتم ها بر روی صفحات و همچنین جهات مختلف کریستالو گرافی بر روی تعدادی از عملیات مکانیکی از جمله تغییر شکل پلاستیکی تاثیر خواهد داشت.

اندیس میلر: برای تعیین موقعیت جهات و صفحات مختلف در یک شبکه یکریستالی از یک روش استاندارد شده به کمک اندیس میلر صورت میگیرد طبق قرار داد اندیس میلر یک صفحه در پرانتز و به صورت (hkl) نشان داده می شود مختصات جهت داخل کروشه نوشته میشود $\{h.k.l\}$ یا $\{x.y.z\}$

روش تعیین اندیس های جهت در شبکه مکعبی

اندیس میلر یک جهت در براکت و به صورت $[hkl]$ نشان داده می شود.

ولی تمام جهات هم نوع به صورت $\langle hkl \rangle$ نشان داده می شوند.

مثلا اندیس جهات قطری در مکعب به شکل $\langle 111 \rangle$ نشان داده می شود که شامل چهار جهت زیر است:

مختصات انتهای بردار نسبت به مبدا مینویسیم
 $[\bar{1}11], [1\bar{1}1], [11\bar{1}], [111]$

روش تعیین اندیس های صفحات در شبکه مکعبی

نقاط تقاطع صفحه مورد نظر با محورهای مختصات تعیین و مختصات آن ها تعیین می شود.

اندیس میلر صفحه متناسب با معکوس مختصات نقاط تقاطع با محورهاست که باید به کوچکترین اعداد

صحیح تبدیل شوند.

اندیس میلر یک صفحه در پرانتز و به صورت (hkl) نشان داده می شود.

ولی تمام صفحات هم نوع به صورت $\{hkl\}$ نشان داده می شوند.

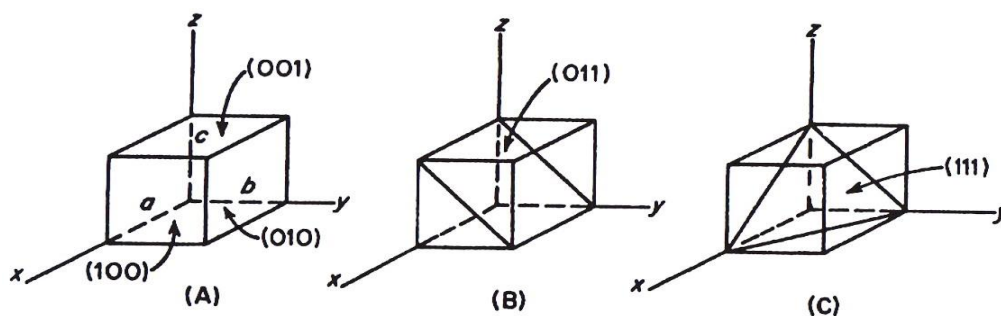
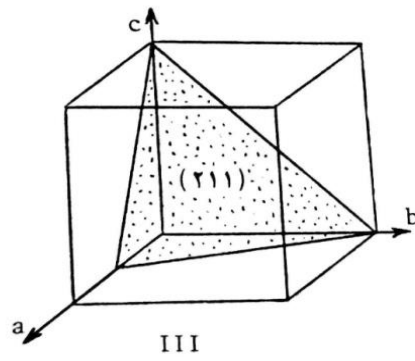
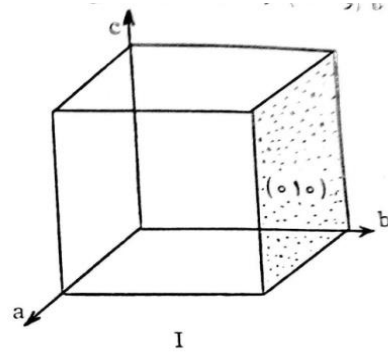
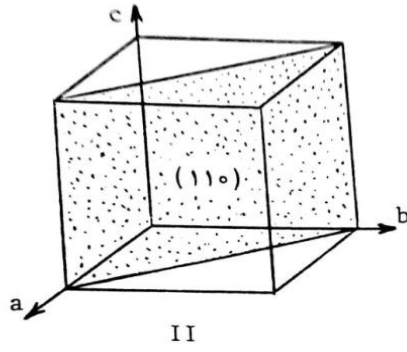
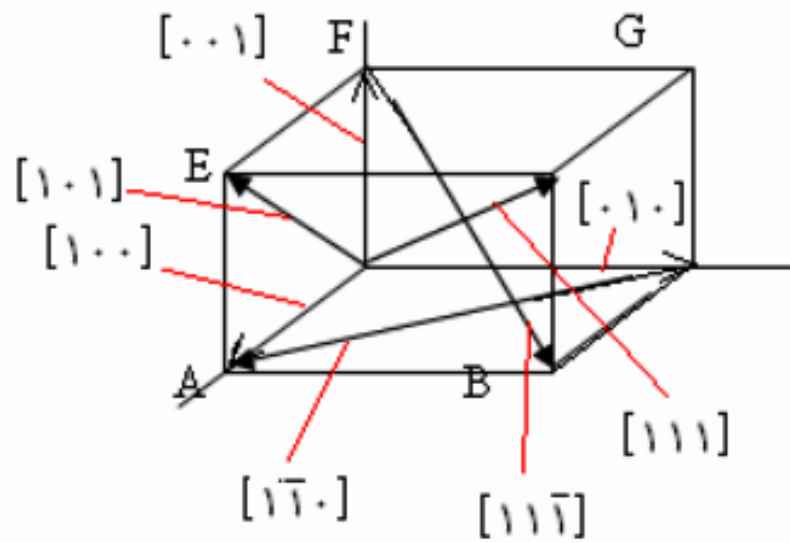


Fig. 1.16 (A) Cube planes of a cubic crystal: a (100); b (010); c (001). (B) The (011) plane. (C) The (111) plane.



شکل ۱۵- نامگذاری سه صفحه (۰۱۰) و (۱۱۰) و (۲۱۱) در یک شبکه کریستالی



ضریب تراکم (فشرده‌گی)

عبارت است از نسبت حجم اتم‌های کامل موجود در یک سلول واحد تقسیم بر حجم کامل سلول واحد
ضریب 100

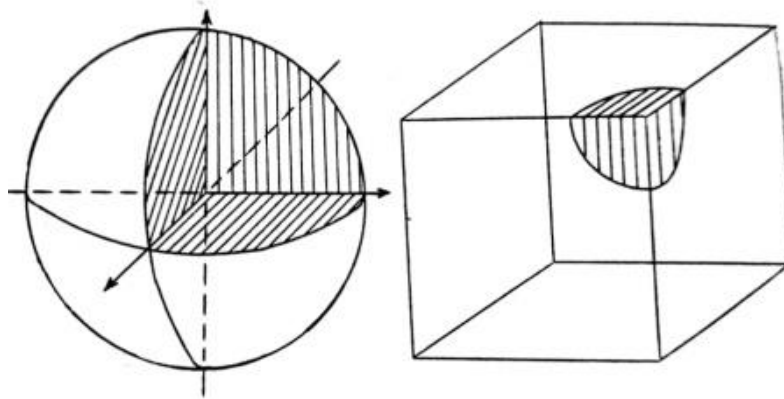
$$PF = \frac{\text{حجم اتمهای سازنده واحد شبکه}}{\text{حجم واحد شبکه}} = \text{فاکتور چیدن اتمی}$$

ضریب نفوذ یا دهانه ی نفوذ: عبارت است از فاصله ی بین دو اتم یعنی مقداری که از $2r$ بیشتر است یا عبارتی راه‌های ورود به شبکه میباشد .

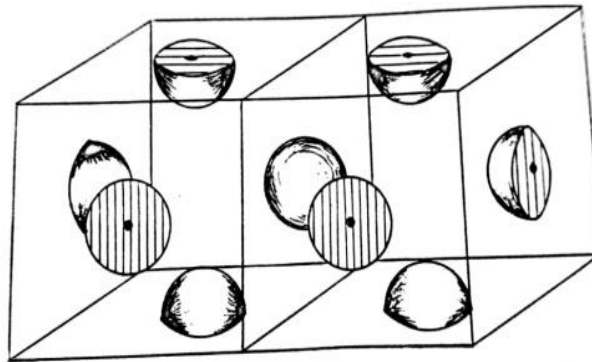
نکته: شبکه ی fcc با توجه به فضای خالی که نسبت به bcc کمتر است چون دهانه ی نفوذ بزرگتری دارد نفوذ پذیری بهتری دارد بنابراین میتواند حلال مناسبی برای شبکه ی bcc باشد

مقایسه آرایش اتمی در ساختمان کریستالی فلزات

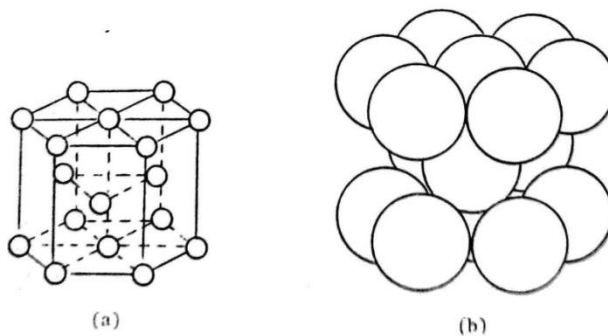
ساختمان	تعداد اتم در سلول واحد	عدد همسایگی	تعداد جهات متراکم	تعداد صفحات متراکم	تراکم فضایی	R رابطه و اتمی a
SC	1	6	$3 \langle 100 \rangle$	$3 \{100\}$	0.52	$a = 2R$
BCC	2	8	$4 \langle 111 \rangle$	$6 \{110\}$	0.68	$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$
FCC	4	12	$6 \langle 110 \rangle$	$4 \{111\}$	0.74	$a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$
HCP	6	12	$3 \langle 1120 \rangle$	$1 (0001)$	0.74	$a = 2R$



شکل ۳- سهم یک مکعب از یک کره برای ساختن یک کنج



شکل ۴- سهم یک مکعب از یک کره که در وسط سطح جانبی آن قرار دارد



شکل ۲۱- (a) شبکه هکزاگونال و شکل متشده 200 (b)

۴۰/ بلورشناسی

محاسبه فاکتورچیدن اتمی شبکه bcc :

a : طول یال مکعب

r : شعاع اتم

$$PF = \frac{\text{حجم اتمهای سازنده واحد شبکه}}{\text{حجم واحد شبکه}} = \text{فاکتورچیدن اتمی}$$

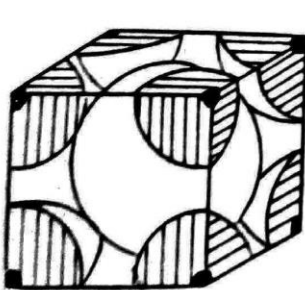
$$PF = \frac{(\text{حجم یک اتم } \frac{4}{3} \times \pi \times r^3) (\text{تعداد اتمهای سازنده } 2)}{(a^3 \text{bcc حجم مکعب})}$$

$$PF = \frac{8 \times \pi \times r^3}{3a^3}$$

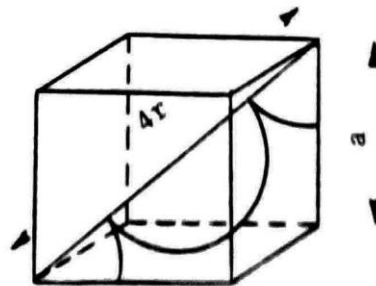
با مراجعه به شکل ۲۷ b ملاحظه میگردد که در امتداد قطر مکعب bcc اتمها برهم مماس هستند و این تنها امتدادی است در bcc که مماس بودن اتمها برهم اتفاق می افتد و در امتدادیالهای مکعب اتمها از هم فاصله دارند. بنابراین میتوان نتیجه گرفت :

$$\text{قطر مکعب} = a\sqrt{2} = 4r \rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

با قرار دادن مقدار a بر حسب r در رابطه PF یا لانتیحه میشود :



(a)



(b)

شکل ۲۷- a) شبکه مکعبی مرکزی در bcc در فشرده ترین حالت و طرز قرار گرفتن

اتمها در امتداد قطر مکعب (b)

$$PF = \frac{4 \times \pi \times r^3}{\frac{2 \times 64 r^3}{3 \sqrt{3}}} = 0.68$$

محاسبه فاکتور چیدن اتمی شبکه fcc :

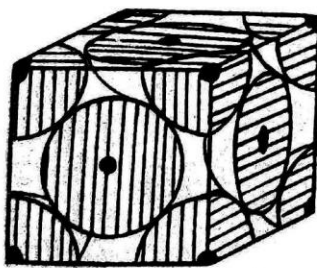
$$PF = \frac{(\text{تعداد اتمهای سازنده}) \left(\frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \right)}{(\text{حجم مکعب fcc } a^3)} = \frac{16 \times \pi \times r^3}{3 a^3}$$

با مراجعه به شکل b ۲۸ ملاحظه میگرد که در امتداد قطر مربع های جانبی شبکه fcc اتمها برهم مماس میشوند و در امتداد های دیگر بیسی اتمها فاصله است . پس میتوان نوشت :

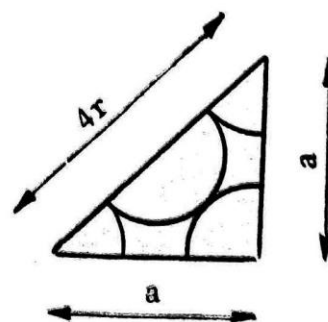
$$a \sqrt{2} = 4r \quad a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

$$PF = \frac{16 \times \pi \times r^3}{\frac{2 \times 64 r^3}{2 \sqrt{2}}} = 0.74$$

از اعداد بدست آمده برای فاکتور چیده شدن اتمی میتوان ب میزان تراکم و یا درصد فضای خالی بین اتمهای برد. از مثالهای بالانتهجه میشود که ۳۶ درصد فضای شبکه bcc و ۲۶ درصد فضای شبکه fcc خالی میباشد، لذا شبکه fcc متراکم تر است .



(a)



(b)

نگل ۲۸- (a) شبکه متراکم مکعبی با سطوح مرکزدار fcc و تشریب قرار گرفتن اتمها در امتداد قطر مربع جانبی (b) .

فصل سوم

بی‌نظمی اتمی در جامدات: هدف از مطالعه‌ی آشنایی با مفاهیم جدید در مورد محلول‌های جامد که

تعریف و شناسایی عیوب شبکه‌ی کریستالی و علل بروز هر عیب است.

ناخالصی‌های درون جامدات: آنچه خالص و ناب است مطلوب است و ما عمدتاً می‌پسندیم مانند بسیاری از

مواد خالص مثل طلای 24 عیار روغن خالص و... اگرچه این ایده‌آلها ممکن است بسیار خوب باشد ولی

در بسیاری از موارد بخاطر قیمت-قابلیت دسترسی و خواص وجود ناخالصی‌ها در آن مناسب است

ساختمان آلیاژها: در صنعت عمدتاً مواد خالص به میزان محدودی کاربرد دارد و بیستر مواد بصورت آلیاژ

مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آلیاژها به منظور دستیابی به خواص مکانیکی فیزیکی و شیمیایی مورد نظر

در شرایط گوناگون و درجه حرارت و ترکیب‌های متفاوت تشکیل دهنده‌ی مواد آنها تهیه می‌شوند و هر آلیاژ

دارای خواصی است که از خواص تک تک عناصر تشکیل دهنده‌ی آن متفاوت می‌باشد

تعریف آلیاژ: آلیاژ عبارت است از محلول جامد همگن کریستال‌های مخلوط و ترکیبی از دو یا چند عنصر

فلزی و یا غیر فلزی به طوریکه محصول نهایی دارای خواص فلزی باشد.

محلول‌های جامد در فلزات:

حلالیت: به قابلیت حل شدن یک ماده در ماده‌ی دیگر حلالیت گفته می‌شود.

محلول جامد: اکثر فلزات در حالت مذاب تشکیل محلولهای همگنی را میدهند که در تبدیل آنها به یک

حالت کریستالی جامد نتیجه‌ی حفظ فاصله‌ی اتمی محلول جامد خواهد بود. در محلول‌های جامد شبکه

ی کریستالی عنصر حلال حفظ شده و تمام اجزا موجود در آلیاژ تشکیل یک شبکه‌ی کریستالی مشترک را

میدهد. نظر به نحوه ی قرار گرفتن اتم های عنصر حل شونده بصورت بین نشینی و یا جانشینی محلول های جامد به محلول های جامد بین نشینی و محلول های جامد جانشینی تقسیم بندی میگردد

محلولهای جامد بین نشین: در این محلول اتمها عنصر حل شونده در بین اتمهای فلز حلال در شبکه کریستالی قرار می گیرند و نظم کریستالی شبکه حلال حفظ می گردد مانند آلیاژ آهن کربن که محلول جامد بین نشینی کربن در آهن می باشد .

محلولهای جامد جانشین: هرگاه اتمهای عنصر حل شونده بجای اتمهای فلز حلال در شبکه ی کریستالی قرار می گیرند و نظم کریستالی شبکه حلال حفظ شود مانند نیکل در مس.

شرایط تشکیل محلول جامد: یا (عوامل موثر بر حلالیت)

1- تشابه شبکه کریستالی : شرط اولیه برای حلالیت کامل کریستالها داشتن شبکه و کریستالی یکسان می باشد.

2- اندازه نسبی: اختلاف واحد شبکه یا شعاع اتمی یا یونی آنها باید تا حد امکان کوچک باشد. در مورد محلول های جامد بین نشین شرط حلالیت این است که اندازه اتم عنصر حل شونده کوچک و در حدود اندازه فضاهای خالی باشد نباید اختلاف واحد شبکه از 15 درصد بیشتر باشد.

3- میل به ترکیب شیمیایی: هر چه که میل به ترکیب شیمیایی بین اتمهای حل شونده عنصر حلال بیشتر باشد امکان تشکیل محلول جامد کمتر است .

4- ظرفیت شیمیایی : عموماً ظرفیت های یکسان حلالیت را مناسب تر میسازد هر چقدر اختلاف ظرفیت شیمیایی بین فلز اصلی و اتم های عنصر حل شونده کمتر باشد حلالیت بیشتر است. در حالت کلی عناصر با ظرفیت کمتر قادر به انحلال عناصر با ظرفیت بیشتراند .

ترکیب یا فاز میانی: اگر به هنگام تشکیل الیاژ در فلز یا غیر فلز بطور شیمیایی بایک دیگر واکنش داده و تشکیل یک ترکیب شیمیایی با خواص جدید را بدهند به آن ترکیب فاز میانی گفته میشود .

مهم ترین ترکیبات یا فازهای میانی عبارت اند از :

1- ترکیب بین فلزی: این ترکیب بین فلزات نامتشابه یا غیر متشابه شیمیایی تشکیل میشود فاز قوانین ظرفیت پیروی مینماید. دارای خواص غیر فلزی هستند زیرا که از قابلیت طرق و هدایت الکتریکی بسیار کمی برخوردار بوده دارای نقطه ذوب بالا دامنه ترکیبی کم و سختیه زیاد میباشد از این ترکیبات به عنوان مثال میتوان Mg_2Si و $CuAl_2$ را نام برد

2- ترکیب الکترونی: در ترکیبات الکترونی نسبت تعداد الکترون های ظرفیت به تعداد اتم ها مقدار معینی است. یعنی این تغییر بین فلزاتی که نسبت معینی بین تعداد کل الکترون های ظرفیتی و تعداد اتم های سازنده آنها وجود داشته باشد تشکیل میشود ترکیب های الکترونی با نسبت های الکترون به اتم وجود دارند به عنوان مثال Cu_9Al_4 را در نظر بگیریم که محاسبه نسبت الکترون به اتم آن به صورت زیر صورت میگیرد هر یک از 9 اتم مس به الکترون ظرفیتی دارند و هر یک از چهار اتم آلومینیوم سه الکترون ظرفیتی دارد که تعداد الکترون ظرفیت برابر 21 و تعداد اتم ها برابر 13 است بنابراین نسبت الکترون به اتم 21 تقسیم بر 13 به وجود می آید ترکیب هایی الکترونی نیز مانند محلول های جامد از خواصی نظیر دامنه ترکیبی وسیع و چکش خوار زیاد و سختی کم برخوردارند

3- ترکیب بین نشینی: این ترکیب بین فلزات انتقالی مانند آهن - نگستن - وانادیم - تانتالیم و تیتانیوم و... با اتم های کوچک کربن اکسیژن نیتروژن و هیدروژن و بر به وجود می آید و ترکیبات شیمیایی کاربرد نیتريد و... به وجود می آورد. از این ترکیبات به عنوان مثال میتوان کاربرد آهن Fe_3C و نیتريد آهن Fe_2N و کربوریتانیوم TiC را نام برد این ترکیب ها دارای سختی زیاد و نقطه ذوب بسیار بالا اند و قابلیت تورق بسیار

کمی دارند فرق بین محلول های جامد بین نشین و ترکیب های بین نشین در این است که: محلولهای جامد بین نشین بادامنه ترکیبی وسیع تری تشکیل میشوند در حالی که ترکیب های بین نشین دارای دامنه ترکیبی محدود تری هستند

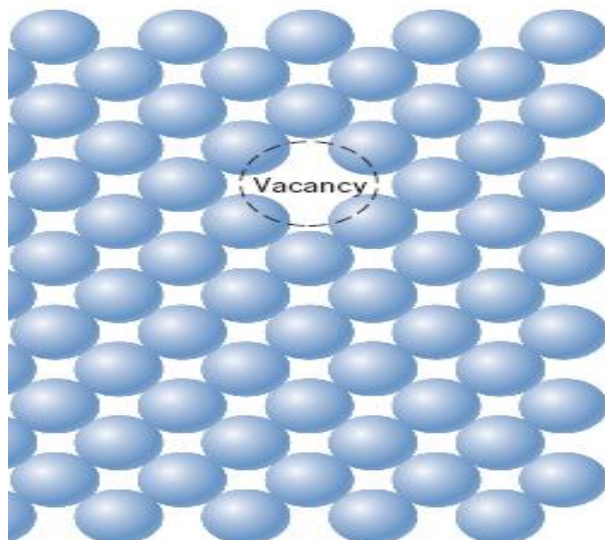
عیوب شبکه کریستالی: از نظر کریستال شناسی کریستالی که دارای ساختمان منظم از تکرار سلول واحد باشد کریستال ایدآل نامیده میشود. اما چنین کریستالی در طبیعت به ندرت دیده میشود و عموماً کریستال ها دارای عیوب مختلف هستند که تاثیر بسزای روی خواص مکانیکی و فیزیکی کریستال ها دارد. این عیوب را میتوان نسبت به ابعادی که دارند به ترتیب زیر طبقه بندی نمود

1- عیوب نقطه ای: عیوب زیر در اغلب حالت ها در اثر عوامل خارجی مانند رشد غلط کریستال ها به هنگام انجماد سریع بمب باران نوترونی در راکتور های اتمی و در تغییر شکل پلاستیکی به وجود میاید و یک سری خواص مانند استحکام فلزات هدایت الکتریکی نیم هادی - پسماند مغناطیسی - هدایت الکتریکی استحکام در برابر درجه حرارت بالا به شدت تحت تاثیر قرار خواهد گرفت.

عیوب نقطه ای شامل الف: عیب جای خالی یا محل خالی ب: عیب بین نشینی یا جانشینی ج: عیب فرنکل میباشد.

الف: عیب محل خالی: vacancy: فضای خالی اتمی در شبکه کریستالی یکی از مهم ترین و ساده ترین عیوب نقطه ای است چنین عیوبی میتواند در موقعه انجماد بخصوص سریع سرد کردن - تغییر شکل و اشعه دادن با انرژی زیاد به وجود آید. محل های خالی اتمی را در شبکه کریستالی معمولاً با علامت مربع مشخص می نمایند البته هر کریستال در شرایط تعادل خود دارای تعدادی جای خالی میباشد. در یک تعادل ترمودینامیکی میتوان طبق روابط موجود ثابت کرد که تعداد جای خالی با بالا رفتن درجه حرارت افزایش

میآید. اما در درجه حرارت بالاتر از حدود نقطه ذوب عیوب محل خالی از بین خواهد رفت زیرا که اساساً در حالت مذاب شبکه کریستالی کاملاً به هم میریزد .

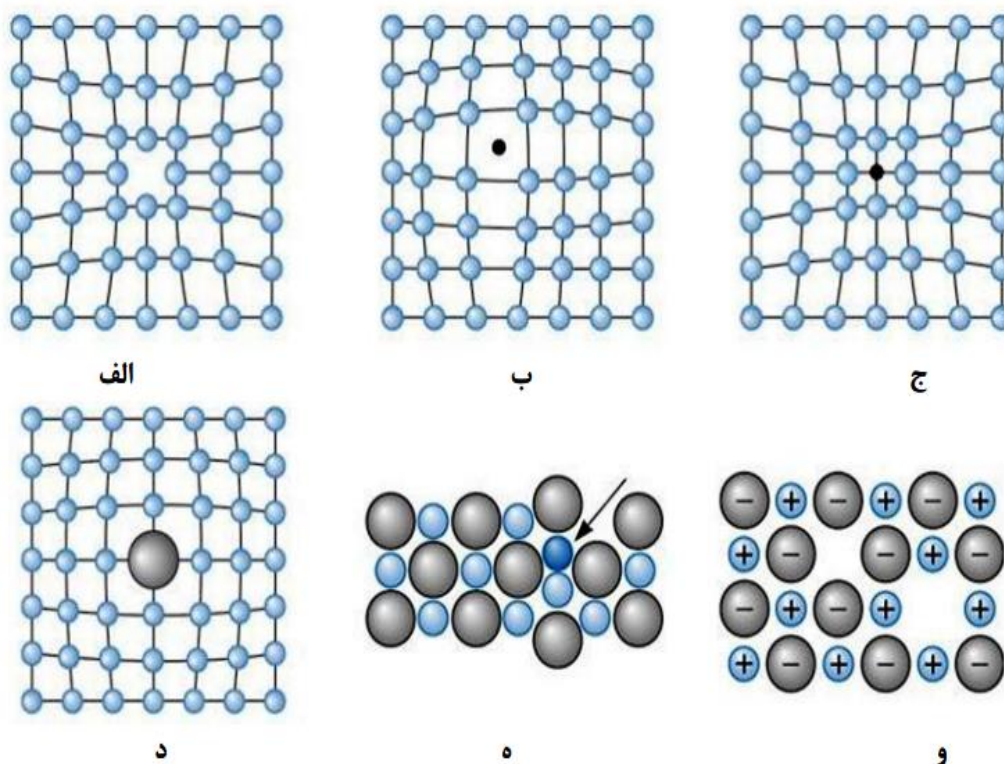


ب - عیب بین نشینی و جا نشینی: این عیب در اثر نشستن یک اتم در فضای موجود بین اتم های شبکه بوجود می آید شرط اولیه برای قرار گرفتن یک اتم ثالث به صورت بین نشین در بین اتم های اصلی شبکه به اندازه کافی کوچک تر بودن شعاع اتمی آن از اتم های اصلی شبکه است برای مثال میتوان قرار گرفتن اتم های کربن در شبکه مکعب باوجه مرکز دار آهن را نام برد این گونه عیوب میتواند باعث کجی یا تغییر شکل موزعی در شبکه کریستالی گردد. اتمهای ناخالصی موجود در کریستال ممکن است در محلهای خالی بجای اتمهای اصلی شبکه قرار گیرند که در این حالت شعاع اتم جانشین میتواند به اندازه شعاع اتمهای اصلی شبکه باشد .

ج - عیب فرنکل: وجود یک عیب جای خالی همراه با یک عیب بین نشین در یک شبکه کریستالی عیب فرنکل نامیده میشود .

لازم به تذکر است که وجود عیوب نقطه ای یا محلهای خالی مذایا پیرا به همراه خواهد داشت که باعث انجام یا ساده تر انجام شدن پدیده ها یا فعل انفعالات می گردد که ذیلاً به چند مورد آن اشاره میشود .

محل‌های خالی از عیب می‌باشد که پدیده نفوذ را اسانتر می‌سازد برای مثال: آبکاری و سخت کردن فولاد ها و آلیاژها از آن استفاده صنعتی می شود. استفاده صنعتی دیگر از وجود عیوب نقطه ای در ساخت بلورهای نیمه عایق و نیمه هادی می باشد. بدین ترتیب که با قراردادن مقدار کمی ناخالص در بین لایه های یک بلور یونی عایق میتوان آن را به یک نیمه هادی تبدیل نمود (بعضی از کریستال‌های خالص عایق جریان الکتریسیته هستند کلاً در شرایط ویژه ای با درجه کمتری در مقایسه با فلزات هادی الکتریسیته می شود این نوع کریستال‌ها رانیمه هادی می نامند) برای مثال عنصر سیلیسیم و یا ژرمانیم و یا گالیم که به حالت خالص عایق الکتریسیته است اگر آن را ذوب نموده و مقدار بسیار کمی آرسنیک، بیسموک یا آنتیموان اضافه نمائیم پس از متبلور شدن می توان هدایت الکتریسیته را سبب گردد. نیمه هادیها در صنایع الکترونیک و در ساختمان ترانزیستور ها مورد استفاده قرار میگیرد.

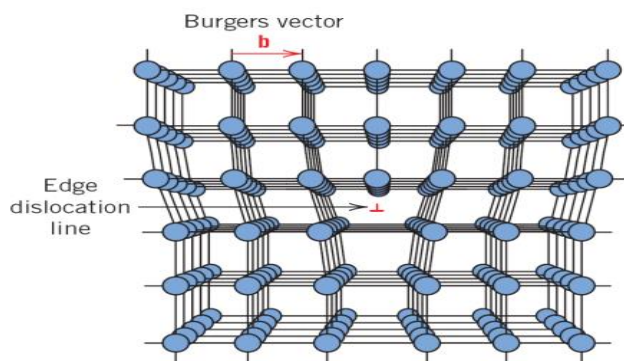
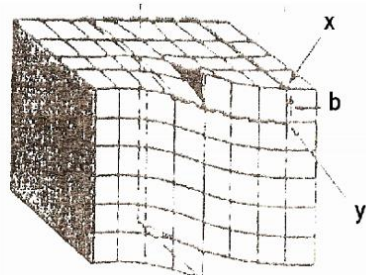


شکل ۱- عیوب نقطه‌ای در کریستال‌ها؛ الف) جای خالی (ب) اتم بین نشین (ج) اتم جانشین با اندازه‌ی کوچکتر از اندازه‌ی اتم‌های میزبان (د) اتم جانشین با اندازه‌ی بزرگتر از اندازه‌ی اتم‌های میزبان (ه) عیب فرانکل (و) عیب شاتکی. همه‌ی

عیوب خطی: نابجایی عیوبی در شبکه کریستالی میباشند که در امتداد یک خط در شبکه کریستالی دیده میشوند و به سه گروه نابجایی خطی یا لبه ای و نابجایی پیچی یا پله و نابجایی های مختلط تقسیم بندی میشوند

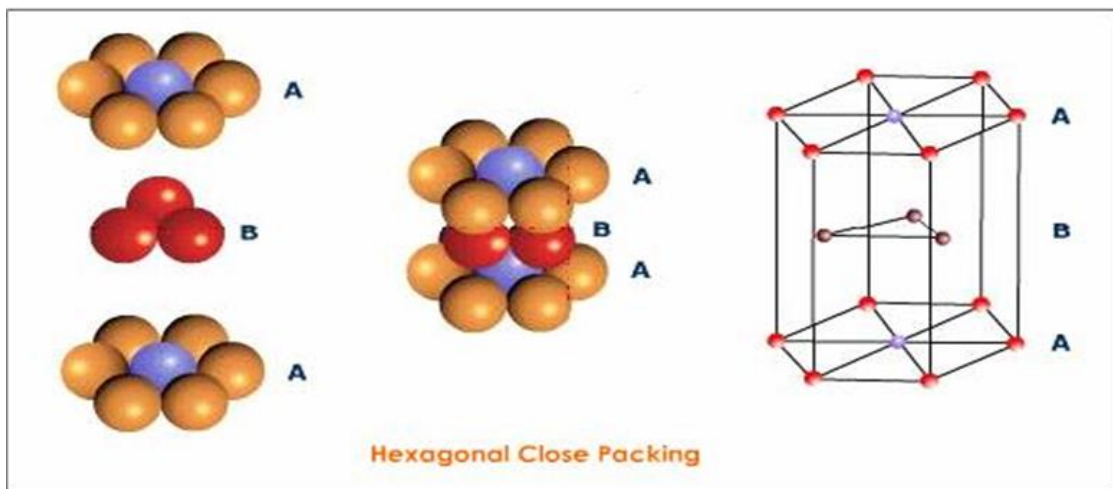
الف: نابجایی خطی یا لبه ای: نابجایی لبه ای رامیتوان از نظر هندسی انتهای یک نیم صفحه اضافی اتمی که بین دو صفحه اتمی از یک شبکه کریستالی قرار گرفته و یا به عبارتی عدم وجود یک قسمت از یک صفحه اتمی در شبکه کریستالی فرض نموده بدین صورت در شبکه نقائصی نام خطوط نابجایی به وجود میاید. یک خط نابجایی را به وسیله این علامت T نشان میدهند که در این علامت خط عمود در جهت نیم صفحه اضافه اتمی و خط افقی صفحه اتمی شبکه را که در مبحث تغییر شکل به آن صفحه لغزش میگوئیم و عمود بر آن است نشان میدهد و خط نابجایی همان فصل مشترک این دو صفحه میباشد

نابجایی پیچی یا پله ای: در نابجایی پیچی صفحات اتمی عمود بر خط نابجایی کاملاً جدا از یک دیگر نبوده و یک سطح پیچ را نشان میدهند و یا میتوان چنین تصور نمود که دو قسمت از یک شبکه کریستالی در جهت مختلف بر روی یک دیگر لغزیده است به طوری که این لغزش تنها بر روی یک صفحه در جهت موازی خط نابجایی و به اندازه یک فاصله اتمی انجام گرفته است و اتم ها مجدداً در ردیف یک دیگر قرار میگیرند و بدین ترتیب نابجایی پیچی به وجود آمده است. نابجایی مختلط: تمام نابجایی های مختلط از به هم پیوستن نابجایی های لبه ای و پیچی به یک دیگر به وجود می آید

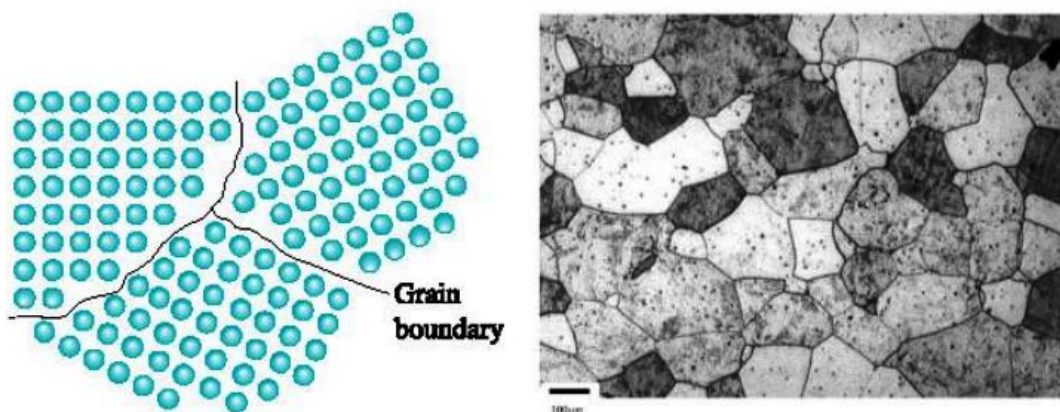


عیوب سطحی: الف) عیب لایه ای ب) عیب مرزدانه

عیب لایه ای : عیوب لایه ای از کناره هم قرار گرفته بدون نظم و ترتیب صفحات اتمی بوجود می آید بدین ترتیب که در قسمتی از کریستال یکی از لایه های اتمی وجود ندارد به عنوان مثال میتوان شبکه هگزاگونال یا منشور شش گوش را در نظر گرفت که تکرار منظم لایه های اتمی آن به صورت $\dots ababab \dots$ میباشد که در صورت چنین عیبی تکرار صفحات اتمی به صورت $\dots abbab \dots$ در می آید چنین که مشاهده میشود در یک شبکه کریستال صفحه اتمی وجود ندارد



عیب مرزدانه : یکی دیگر از عیوب دوبعدی که دارای اهمیت زیاد یبرای تمام مواد میباشد مرز دانه ها میباشد تغییرات تمام مواد چندین بلور میباشد آنها دارای تعداد زیادی دانه باجات مختلف کریستالی میباشد که هر یک از آن ها توسط مرز دانه از یک دیگر جدا شده اند



عیوب فضایی یا سه بعدی : فضاهاى خالى میکروسکپی و ماکروسکپی مانند حفره های انقباضی کوچک داخلی و حفره ها ریز زیر سطحی که در اثر خروج گاز ها پدید میآیند و ترک هایی مویی و از این قبیل عیوب جزو عیوب فضایی یا سه بعدی محسوب میشوند لازم به تذکر است که تنها عیوب ساده ای جاخالی میتواند در حالت تعادل حرارتی به وجود آید در صورتی که بقیه عیوب شبکه ای تحت تاثیر عوامل خارجی به وجود می آیند بدین ترتیب که مرز دانه ها میتوانند به هنگام انجماد و نابجایی ها در باره تغییر شکل پلاستیکی به وجود آید

عیوب غیر کریستالی : در بعضی از مواد مهم مهندسی و علمی شامل تمام مایعات شیشه اکثر پلاستیک هابعضی سرا میک ها و تعداد کمی فلزات (به شرط آن که فوق العاده سریع سرد شوند) نظم بر دامنه وجود ندارد مهم ترین آن ها شیشه ها هستند که میتوان آن هارا به عنوان مواد جامد بدون شکل در نظر گرفت که دارای تعداد زیادی عیوب ساختاری مختلف میباشد در واقع میتوانیم این عدم تکرار ساختار را بصورت بی نظمی حجمی یا سه بعدی به عنوان پیامد عیوب نقطه ای - خطی و مرز دانه های دو بعدی تصور کنیم . اصولا ساختمان شیشه ای در تمام گروه های مواد میتوان بدست آید اما در فلزات تنها در اثر سریع سرد کردن یا سرد کردن بسار سریع به دست می آید و در درجه حرارت پایین پایدار است و به نام شیشه فلزی معروف است. نام شیشه همیشه همیشه برای موادی که در این جا ذکر شده برده نمیشود بلکه در صنعت گاهی وقت ها تحت نام های دیگری مانند اجسام جامد غیر کریستالی یا بی شکل برای مخلوطی از اکسید های غیر بلوری که از حالت مایع به دست میآید به کار برده مسیشوند

فصل چهارم

قوانین فازها و دیاگرام های تعادل : به هنگام الیاز سازی اجزای تشکیل دهنده الیاز در یکدیگر حل شده و یا ترکیب میشوند و در یک فاصله حرارتی دو یا چند ناحیه متفاوت ولی هرکدام به نوبه خود یکنواخت را تشکیل میدهند و هر یک از این نواحی که دارای ساختمان همگن و خواص یکنواخت و مشابه بوده و از لحاظ مکانیکی قابل جدا کردن باشد فاز گفته میشود.

در یک الیاز ممکن است تعداد زیادی فاز وجود داشته باشد به عنوان مثال در چدن خاکستری فاز های زیر موجود است فریت کاربید آهن گرافیت فسفید آهن

قانون فازها : عموماً یک عنصر میتواند به چهار حالت پلازما گاز مایع جامد درآید نظم بین اتم ها در حالت فوق به ترتیب ذکر شده افزایش می یابد در جه حرارت و فشار میتواند از جمله عوامل متغیر خارجی مهمی باشد که در به وجود آوردن حالت های مختلف یک عنصر تاثیر زیادی دارد رابطه بین تعداد فاز های موجود تعداد عناصر یا اجزا تشکیل دهنده الیاز حرارت و فشار در یک سیستم را قانون فاز مینامند یا به عبارتی به کمک قانون فازها که بنام **قانون گیبس** معروف است میتوان تعداد فازهای در حال تعادل را تعیین نمود.

منحنی های سرد کردن فلز های خالص و الیازها : به منظور تهیه نمودار های تعادلی فازها فلز یا الیاز مورد نظر را ذوب نموده و به هنگام سرد شدن چگونگی انجماد و تغییرات درجه حرارت را بر حسب زمان از درجه حرارت فوق ذوب تا درجه حرارت محیط اندازه گیری و ثبت می نماید

طبیعتاً وقتی مذابی به داخل قالبی ریخته شود درجه حرارتش بالاتر از نقطه ذوب خودش خواهد بود و با توجه به اختلاف درجه حرارت محیط و مذاب انتقال حرارت از قطعه به محیط بوده و با شیب حرارتی سرد میشود تا به نقطه ذوب یا انجماد برسد در فلزات خالص با گذشت زمان درجه حرارت انجماد به دلیل گرمای تبلور ثابت میماند تا زمانی که تمام قطعه منجمد شود سپس با گذشت زمان درجه حرارت نیز پایین می آید

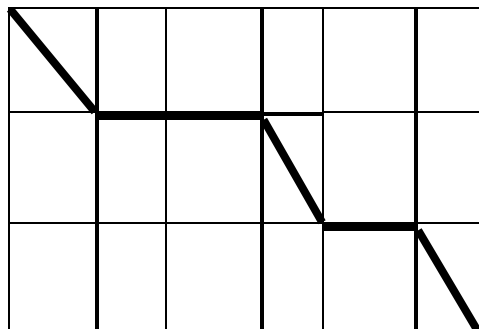
دیاگرام های تعادلی الیاژ های دو عنصری: در طبیعت دسته های دو تایی فراوانی از مواد وجود دارند که به هرنسبتی در یک دیگر حل شده و تشکیل محلول میدهند مانند مس و نیکل . دسته هایی هستند که کاملاً غیر قابل حل می باشند مانند اب و بنزین و یا آهن و سرب . بسیاری از مواد دیگر حلالیت محدود دارند یعنی مقدار ماده ای که میتواند حل شود محدود است مانند اب و نمک .

کاربرد دیاگرام های تعادل :

مشخصه های حلالیت مواد عموماً با دیاگرام های تعادل ارائه میشود برای مواد خالص و هم چنین الیاژها نمودار های تعادلی وجود دارد که با تغییر پارامتر هایی نظیر دما فشار و ترکیب شیمیایی تغییرات فازی به وجود میاید با استفاده از نمودار های تعادلی میتوان پیش بینی نمود که در یک الیاژ با غلظت معین در هر درجه حرارت چه فاز هایی در حال تعادل هستند. همچنین نقطه ذوب الیاژ با غلظت معینی از اجزا سازنده اش و امکان تشکیل و تبدیل فاز های جدید به هنگام خورد شدن تجزیه یا جدایش ماده ای در یک محدوده حرارتی رامشخص میسازد در این مبحث به بررسی سیستم های دو عنصری مسی پردازیم . در نمودار های تعادلی سیستم های تک عنصری تغییر حالت یک عنصر در برابر متغیر های درجه حرارت و فشار میباشد . درحالی که در نمودار های تعادلی سیستم های دو عنصری متغیرهای درجه حرارت و غلظت میباشد و فشار ثابت و برابر یک اتمسفر انتخاب میگردد برای تعیین خطوط تعادل با انتخاب نمونه هایی باترکیب هایی متفاوت تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان سرد یا گرم کردن ارام و پیوسته اندازه گیری خواهد شد

انواع دیاگرام های تعادلی دو عنصری: دیاگرام دو فلز که درحالت مذاب در یکدیگر محلولند و نه در حالت جامد (عدم حلالیت درحالت ماید و جامد) آهن و سرب هیچ گونه حلالیتی درحالت مذاب و جامد بایکدیگر ندارند و کاملاً شیب حرارتی موازی شیب حرارتی زمان فوق ذوب تا اولین هسته انجماد است . ولی در الیاژها پس از تشکیل اولین هسته جامد و ادامه آن در حالت انجماد درجه حرارت پایین می آید شیب حرارتی نسبت به حالتی که از فوق ذوب به نقطه انجماد میرسد کمتر باشد و باشیب به وجود آمده به آخرین

نقطه انجماد میرسیم پس از انجماد کامل درجه حرارت باشیب جدید که عمدتاً بیشتر از شیب حرارتی زمان انجماد است پایین می آید تا به درجه حرارت محیط برسد .

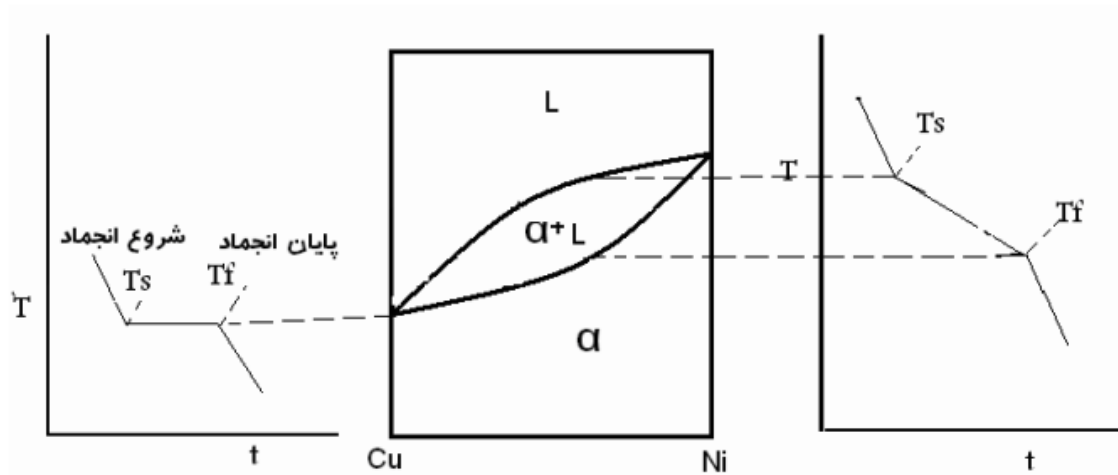


آهن مذاب + سرب مذاب 1538
آهن جامد + سرب مذاب 327
آهن جامد + جامد

نتیجه اینکه نقطه ذوب نقطه انجماد در فلزات خالص یکی است ولی در الیاژها نقطه ذوب با انجماد بایکدیگر تفاوت دارد و یک فاصله حرارتی بین آنها است دامنه انجماد: فاصله حرارتی بین تشکیل اولین هسته انجماد و آخرین هسته جامد را دامنه انجماد گویند .

چنانچه دو عنصر a و b برای مثال مس و نیکل به هرنسبتی در حالت های مایع و جامد کاملاً در یکدیگر حل شوند نمودار تعادل آنها بدین شکل خواهد بود در این نمودار منحنی بالایی منحنی ذوب یا خط مذاب و منحنی پایینی خط انجماد نامیده میشوند . در دماهای بالا خط ذوب هر دو ماده مس و نیکل با هر نسبت اختلاط محلول مایع میدهند همچنین در زیر خط انجماد مس و نیکل در حالت جامد با هر نسبتی تشکیل محلول جامد میدهند . در فضای بین خطوط انجماد و ذوب منطقه ی دو فاز میباشد که در آن محلولهای مایع و جامد در کنار یکدیگر مشاهده میشوند . لازم به ذکر است که ترکیبات محلول جامد نهایی در درجه حرارتهای مختلف متفاوت میباشد. هرچه سرعت سرد کردن آرامتر باشد محلول جامد نهایی همگن تر خواهد بود. متعادل شدن ترکیبات محلول جامد در حین انجماد توسط پدیده نفوذ یادیفوزیون در صورتی انجام خواهد شد که سرعت سرد کردن آرام باشد یعنی زمان به اندازه کافی برای نفوذ و جایجایی اتمها موجود باشد . در غیر این صورت منطقه ناهمگنی بنام سگر گاسیون کریستالی (جدایش) را بوجود می آورد که برای

همگن سازی باید آلیاژ مورد نظر را تا 50 درجه سانتی گراد پایین تر از خط انجماد برای مدت زمان طولانی حرارت داده شود.

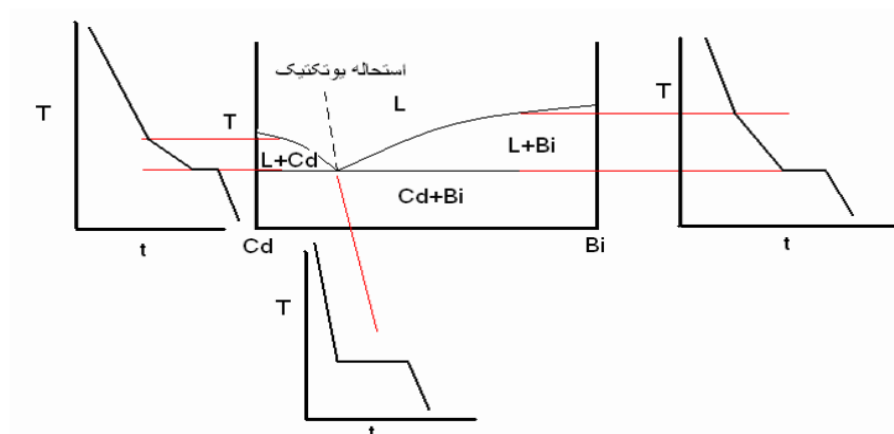


3- دیاگرام دو فلز که در حالت مذاب کاملاً در یکدیگر محلولند ولی در حالت جامد حلالیتی

ندارند. حالت نامحلولی کامل در حالت جامد عملاً بندرت پیش میاید و معمولاً در این گونه سیستم ها

(یوتکتیک) کمترین حلالیت محدود از هر دو عنصر در یکدیگر وجود دارد بنابراین دیاگرامی نوع چهارم

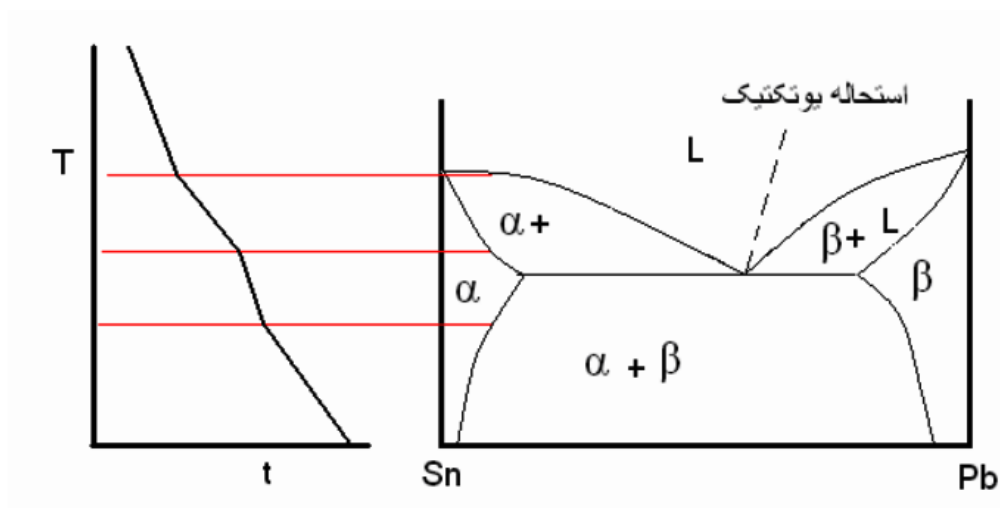
تغییر میاید.



4- دیاگرام دو فلز که در حالت مذاب کاملاً در یکدیگر محلولند و در حالت جامد حلالیت محدود دارند.

تحول یا تجزیه یوتکتیکی: ترکیبی که در نقطه e منجمد می شود آلیاژ یوتکتیک نام دارد. آلیاژ این ترکیب در یک درجه حرارت ثابت ذوب و منجمد می شود و از این لحاظ مانند فلز خالص عمل می کند. ساختمان میکروسکوپی این آلیاژ شکل خاصی به صورت لایه ای دارد و لایه ها یک درمیان اند.

در درجه حرارت یوتکتیک در نقطه e سه فاز یعنی فاز مایع با دو فلز محلول جامد α و β در حال تعادل هستند و بر طبق این تحول در درجه حرارت ثابت e یک فاز مایع به دو فاز محلول جامد تبدیل میشود.



آلیاژهای هیپویوتکتیک:(ماقبل یوتکتیک)به کلیه آلیاژهایی که درصد ترکیب آنها در سمت چپ نقطه یوتکتیک یعنی کمتر از یوتکتیک باشد آلیاژهای هیپویوتکتیک گفته می شود .

آلیاژهای هیپر یو تکتیک:(ما بعد یوتکتیک)به کلیه آلیاژ هایی که درصد ترکیب آنها در سمت راست نقطه یو تکتیک یا بعد از نقطه یوتکتیک باشد آلیاژهای هیپر یوتکتیک گفته می شود.

تجزیه یوتکتوئیدی:بسیاری از محلولها جامد فقط در درجه حرارت های بالا پایداراند و به هنگام سرد شدن در یک درجه حرارت ثابت و معین به دو نوع محلول جامد دیگر تجزیه میگردد که به این تبدیل تبدیل یوتکتوئیدی گویند همانگونه که از نام آن مشخص است. این تحول مشابه تحول یوتکتیک است وبه همین جهت به ان یوتکتوئید یا شبه یوتکتیک گفته میشود . و تفاوت ان با تبدیل یوتکتیکی در این است که درتبدیل یوتکتیکی یک فاز مذاب به دو فاز محلول جامد تبیل میشود ولی در تحول یوتکتوئید یک فاز محلول جامد به دو فاز محلول جامد دیگر تبدیل می گردد.

پنجم: آهن و آلیاژهای آن

توجه به آهن و آلیاژهای آن در صنعت بدین علت است که آهن مهمترین فلز صنعتی است که در اکثر ماشین الات و صنایع مورد استفاده قرار می گیرد . آهن به صورت خالص در صنعت استفاده چندانی ندارد مگر در موارد خاص و تحقیقات آزمایشگاهی و در طبیعت به صورت خالص کمتر یافت می شود و معمولا در سنگهای معدنی اکسیدی - سیلیکاتی - سولفور و کربناتی وجود دارد. آهن خالص را عموما توسط الکترولیز نمکهایش و یا تجزیه حرارتی کربونیل با فرمول $Fe(CO)_5$ بدست می آورند و تهیه آن مستلزم صرف هزینه های زیاد میباشد

مهمترین سنگ های معدنی آهن عبارتند از:

هماتیت Fe_2O_3 - منگنت Fe_3O_4 - پیریت FeS_2 - سیدریت $FeCO_2$ - برای استخراج آهن از طریق کوره ی بلند سنگ معدن اکسیدی را پس از خرد کردن تا اندازه ی مشخص به همراه کک و مواد کمک ذوب مانند سنگ آهک به داخل کوره شارژ یا بارگیری نموده و از طریق مجرا هایی که در قسمت شکم کوره وجود دارد شروع به دمش هوا مینماید و گرمای لازم را جهت فعل و انفعالات کوره از طریق سوختن کک ایجاد میشود و در حقیقت اکسید آهن توسط کک احیا میگردد و آهک نقش سیال کننده و تولید سرباره از ناخالصی ها را دارد. پس از عملیات ذوب سرباره که بعلت سبک بودن در بالا قرار گرفته از مجرای مخصوص تخلیه میگردد و سپس مذاب که آهن خام یا چدن خام نامیده میشود و از مجرای پایینی تخلیه میگردد که به دو صورت مورد استفاده قرار میگیرد :

1. بصورت شش ریخته گری برای مصارف کارگاه ها و کارخانه جات ریخته گری .

2. شمش نوردی فولادی که جهت تولید فولاد چدن خام را به داخل کوره ای به نام کنور تور ریخته و با دمیدن هوا یا اکسیژن درصد کربن گوگرد فسفر سیلیسیم منگنز و سایر عناصر را تا حد امکان پایین آورده و به فولاد تبدیل میکند .

انواع آهن و آلیاژهای آن: آهن و آلیاژهای آن را میتوان بصورت زیر دسته بندی نمود :

1- آهن خالص تجارتي: فلزات خالص تجارتي به فلزاتي گفته ميشود كه صد درصد خالص نبوده و مقدار ناچيزي ناخالصي در آن وجود دارد كه آنچه كه در صنعت به نام آهن خالص تهيه و عرضه ميشود در حقيقت آهن خالص تجارتي است كه همواره مقدار ناخالصي را از 1/000 درصد تا 1/1000 بهمهراه دارد .

2- آهن كار شده يا آهن نوردی يا آهن راف : قبل از استفاده ی وسيع از فولاد های ساختمانی آهن كار شده قلز اسای برای مصرف در ساختمان سازی بوده است آهن رات يا كار شده مخلوط مكانيكي آهن خيلي خالص و حدود سه درصد از يك سرباره ی سيليكاتي ميباشد كه در داخل زمينه ی آهن پخش شده است كه به هنگام عمليات كار گرم برای تبديل به شمش به محصول نهايي مورد نظر ذرات سرباره در طول جسم كشيده ميشوند و اين حالت باعث افزايش مقاومت در برابر خستگي و همچنين مقاومت در برابر خوردگي ميگردد آهن رات قابليت ريخته گري ندارد و اغلب به روش های شكل دادن مانند: اكستروژن و آهنگري و نورد ميتوان انرا شكل داد

الف) فريت (آهن الفا): به محلول جامد كربن در آهن آلفا فريت گفته ميشود ماكزيمم مقدار حلاليت كربن در آن در درجه حرارت 723 درجه سانتیگراد در نقطه p برابر 25٪ بوده و دارای شبکه كريستالی bcc ميباشد
ب) اوستنيت: به محلول جامد كربندر آهن لا گاما اوستنيت گفته ميشود اوستنيت دارا شبکه fcc بوده ماكزيمم حلاليت كربن در آن در درجه حرارت 1130 درجه سانتیگراد در نقطه e برابر 2٪ ميباشد.

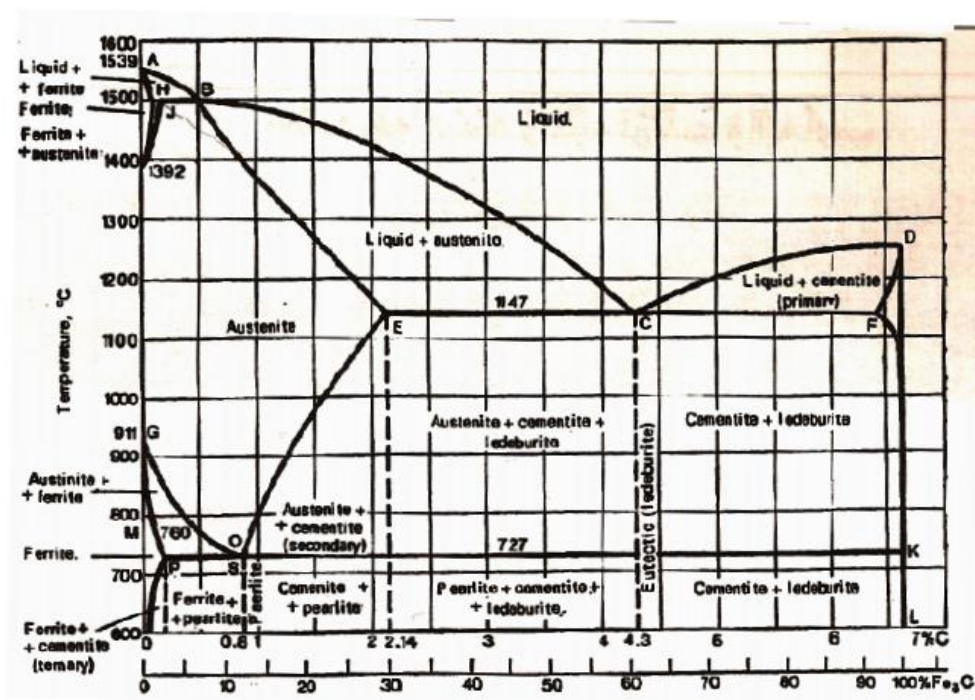
ج) سمانتيت: به تركيب فلزي بين آهن و كربن سمنتيت با فرمول شيميايي Fe₃C گفته ميشود سمنتيت فازی سخت و شکننده و شبکه كريستالی آن اورتورمبیک (منشور لوزی القائده) می باشد

د) پرليت: به تركيب يوتکتوئیدی دوفاز فريت و سمنتيت پرليت گفته ميشود ودر آن فريت و سمنتيت بصورت لايه لايه در کنار يكدیگر قرار دارند و چون شباهتی به شكل صدف دارد به آن پرليت گفته شده است

ه) **لدبوریت:** به ترکیب یوتکتیکی دوفاز اوستنیت و سمنتیت لدبوریت گفته میشود این الیاژ با 4/2 درصد کربن در درجه حرارت 1130 درجه سانتی گراد تشکیل میشود ساختمان میکروسکوپی آن شبیه پوست پلنگ می باشد و به همین جهت به آن ساختار پوست پلنگی گویند .

طبقه بندی الیاژهای آهنی: در صنعت انواع مختلف الیاژهای آهنی با خواص متنوع وجود دارند که هر یک با روش های بخصوص تولید میشوند خواص مکانیکی الیاژهای آهنی به مقدار عناصر الیاژتتشکیل دهنده آنها شدیداً وابسته است. در الیاژهای آهن - کربن هرچه مقدار کربن کمتر باشد به همان نسبت انعطاف پذیری بیشتر است.

دیگرا تعادلی آهن - کربن به شکل زیر می باشد:



الیاژهای آهن کربن : الیاژهای سیستم آهن- کربن شامل دو نوع میباشد: که عبارتند از 1- فولادها 2- چدن‌ها

1- فولادها : الیاژهای آهن کربن که مقدار کربن آنها کمتر از 2٪ باشد

2- چدن‌ها: الیاژهای آهن کربن که مقدار کربن آنها بیشتر از 2٪ باشد

اگر چه این طبقه بندی مورد قبول واقع شده است ولی فولاد های الیاژی وجود دارد که بیش از 2٪ کربن دارد و یا چدن‌ها الیاژی با کمتر از 2٪ کربن نیز یافت میشود .

نمودار تعادل آهن - کربن : کربن مهمترین عنصر الیاژکننده آهن است و نمودار تعادل آهن کربن مربوط به تبدیلاتی است که در الیاژهایی با ترکیبات از آهن خالص تا سمانتیت (کاربید آهن) به وقوع می پیوندد. آهن کربن در حالت مذاب کاملاً در یکدیگر محلولند ولی در حالت جامد هم به صورت محلول جامد کربن در آهن در آمده وهم ترکیب فلزی تولید می نماید همچنین آهن دارای تغییرات الوترویی می باشد. تحولات پرتکتیک و یوتکتیک و یوتکتوئید در این دیاگرام وجود دارند چون الیاژدارای بیش از 5 درصد کربن استفاده صنعتی و مهندسی ندارد لذا این دیاگرام را تا حدود 5 درصد کربن بیشتر رسم نمیکنند .

با درصد کربن پایین دردمای پایین رفتار تدری از خود نشان میدهند بدین ترتیب کاربرد آنها در درجه حرارت های پایین زیر صفر در مقابل نیروهای ضربه ای میتواند خطرناک باشد ولی با افزودن مقدار کمی از منگنز میتوان تمایل به شکست ترد را کاهش داد .

الف- فولاد های ساده کربنی با کربن کم:

درصد کربن این فولادها حداکثر ۰.۱۵٪ می باشد، در صنعت گاهی به فولادهای کششی نیز معروف می باشند، به علت اینکه تغییر طول نسبی بالایی دارند اکثراً به صورت ورقه های نازک تولید می شوند و گاهی هم به صورت سیم و یا مفتول به کار می روند، همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و از قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و مشکل خاصی در جوشکاری ندارند. در مواردی که قطعات تحت عملیات حرارتی سختکاری سطحی قرار می گیرند کاربرد خوبی دارند. هر فلزی که جوش پذیری بهتری داشته باشد

و به سادگی بتوان با آن به جوشی که خواص فلز جوش، منطقه HAZ و فلز پایه یکسان دست یافت، جوشکاری ساده تری دارد. اگر فلزی جوش پذیری خوبی داشته باشد، با کمترین دانش فنی، می توان آن را به خوبی جوش داد. در فولادها معمولاً جوش پذیری را با کربن معادل ارتباط می دهند، اکثراً هر چه کربن معادل بالاتر باشد جوش پذیری کمتر می شود، چرا که هر چه کربن معادل بیشتر باشد، سختی پذیری بیشتر می شود. بنابراین احتمال ایجاد فاز مارتنزیت و ایجاد تردی در فولادها بیشتر می شود، بنابراین جوش پذیری کاهش می یابد. به عبارت دیگر اتصال این فولادها با کمتر از ۰/۱۵٪ کربن که به عنوان فولادهای کم کربن شناخته می شوند، با روشهای جوشکاری و لحیم کاری به سهولت انجام می شود. این فولادها دارای سختی پذیری پایینی هستند. یک فولاد حاوی ۰/۱۵٪ کربن وقتی با سرعت بالا سرد شود قابلیت سخت شوندگی HRC40-30 را دارد. درصد کربن در این فولادها ۰/۳۰٪ - ۰/۱۵٪ می باشد و آنها را فولادهای نرم می نامند. این فولادها دارای جوش پذیری خوبی هستند. تغییر طول نسبی کمتری نسبت به فولاد کم کربن دارند، اما این فولادها استحکام کششی بهتری دارند. معمولاً به صورت Plate دیده می شوند و گاهی اوقات به صورت نبشی و میلگرد نیز تولید می شوند. معرفترین فولاد از این دسته از فولادها، ST37 می باشد. فولادهای کم کربن و کربن جزئی را به عنوان فولادهای ساختمانی می شناسند و در صنعت به آنها آهن آلات گفته می شود. جوشکاری با الکتروستی معمول ترین روش جوشکاری فولادهای کم کربن و کربن جزئی می باشد، همچنین جوشکاری با قوس زیر پودری نیز دیگر روش معمول برای جوشکاری این دو نوع فولاد می باشد

ب- فولاد های ساده کربنی با کربن متوسط:

مقدار کربن در این نوع فولاد ها بین 0/2 تا 0/5 درصد میباشد این نوع فولاد ها به ندرت بصورت عملیات حرارتی نشده مورد استفاده قرار میگیرد زیرا انجام عملیات حرارتی باعث اصلاح مشخصات مکانیکی و بهتر نمودن قابلیت انعطاف و مقاومت به ضربه ی آنها میگردد. در میان انواع فولاد ها این نوع فولاد بیشترین مصرف را داشته و موارد کاربرد آن مختلف و متنوع است. موارد اصلی معروف این نوع فولاد در صنایع حمل و نقل ماشین آلات و ابزار های فولادی -دستگاه های نورد-ماشین های راه سازی و ساختمانی-فک آسیاب ها و گلوله های آسیاب و ... میباشد

ج- فولادهای ساده کربن با کربن بالا:

1- این فولادها بین نیم درصد تا 0/9 درصد کربن دارد. فولادهای پر کربن دارای سختی و مقاومت سایشی بالایی میباشند. موارد مصرف اصلی آنها در ساخت قالب های کار مکانیکی روی فلزات - غلطک ها - تیغه اهره- مته های سنگ بری و حفر زمین و دیگر ابزاری که مقاومت به سایش در آنها لازم است میباشد

2- فولاد های ابزار: فولاد های ابزار اغلب با استفاده از کوره های الکتریکی تهیه میشوند بدین جهت دارای ناخالصی های غیر فلزی کمتری در مقایسه با فولاد های تولید شده از روش های دیگر میباشد. انتخاب فولاد ابزار بستگی به کاربرد ابزار دارد سختی پذیری- مقاومت سایشی و درجه حساسیت در مقابل انقباض و مقاومت بالا در برابر ردرجه حرارت بازپخت از جمله خواص مهم فولاد های ابزار میباشد یک گروه خاص از فولاد های ابزار فولاد های تند بر میباشند که علاوه بر سختی بالا دارای مقاومت فوق العاده بالایی در مقابل درجه حرارت باز پخت هم میباشد این فولاد را بعنوان ابزار درماشین های تراش- فرز - مته و ... بکار می رود و میتواند سختی و توان برش خود را تا دمای تقریبی 600 درجه سانتیگراد بطور کامل حفظ نماید

الیاژ نرمتر و قابلیت شکل پذیری بهتری دارد و بالعکس هر چه مقدار کربن زیادتر باشد الیاژ سخت و شکننده تر میباشد. علاوه بر آن کربن بصورت ازاد نرمی بیشتر را موجب میشود و ترکیب کربن و آهن کاربرد سختی را افزایش میدهد فلزات آهنی را میتوات به دو گروه عمده تقسیم نمود ..

1- فولادها: شامل: 1- فولاد های ساده کربنی 2- فولادهای ابزار 3- فولاد های الیاژی

الف) فولادهای ساده کربنی شامل: 1- کم کربن 2- با کربن متوسط 3- با کربن بالا (فولاد های الیاژی شامل: 1 - کم الیاژ 2- پر الیاژ 2- چدن ها: چدن خاکستری - چدن سفید - چدن با گرافیت فشرده - چدن نشکن (فیچی با گرافیت فشرده) - چدن مانلیبل (چکش خوار با گرافیت برفکی) توضیح فولادها

فولاد های ساده ی کربنی: الیاژهای آهن و کربن را تا حدود 1/7 درصد کربن داشته باشند فولاد مینامند دلیل سختی فولاد بالا بودن مقاومت و خواص مکانیکی آن نسبت به آهن خالص وجود کاربرد آهن یعنی سمانتیت

میباشد. منظور از فولاد های ساده کربنی فولادهایی است که غیر از کربن عناصر دیگری در آنها وجود نداشته باشد لازم به تذکر است که همیشه مقادیر کمی سیلیسیم منگنز فسفر گوگرد ... در فولاد وجود دارند که بعضی از این عناصر مضر میباشند مانند فسفر و گوگرد. با توجه به میزان کربن موجود در فولاد تقسیم بندی زیر انجام میگیرد

الف) فولاد های ساده کربنی یا کم کربن : مقدار کربن این فولادها کمتر از 0/2 درصد میباشد این نوع فولادها به مقدار بسیار زیادی در ساخت و تولید ورق ها انواع فولاد های ساختمانی مانند تیر آهن میلگرد و نبشی مورد استفاده قرار میگیرند همچنین در صنایع اتومبیل سازی قطعات ریختگی که سطح آنها ارز طریق کربن دهی سخت میشود صنایع فولاد- مصارف الکتریکی و مغناطیسی کاربرد دارد . این نوع فولادها قابل انعطاف ترین خانواده فولاد ها بوده و مشخصات مکانیکی آهن با عملیات حرارتی بهبود نمی یابد لازم به تذکر است که فولادها کربنی غیر الیازی در مجموع این فولادها جهت ساخت فنر ها انواع سمبه انواع مته تیغه فرز انواع حدیده و قفل آویزو انواع بلبرینگ بکار می روند

3- فولاد های الیازی انتخاب فولاد جهت کارهای مختلف مهم و نسبتا دشوار میباشد فولادهای ساده کربنی دارای مزایایی از جمله سادگی عملیات حرارتی و قیمت ارزان میباشد در مقابل دارای محدودیت هایی از جمله عدم مقاومت کافی در برابر خوردگی از ارتعاش و ضربه میباشد وجود و تکامل فولادهای الیازی بر مبنای نیاز قطعات به خواص ویژه ای ما باشد که فولاد های ساده ی کربنی فاقد ان میباشد. نقش فولادهای الیازی: اضافه نمودن عناصر الیازی با فولادهای ساده کربنی موجب افزایش قابلیت و سختی پذیری مقاومت در مقابل سایش - بالابردن مقاومت به ضربه- اصلاح قابلیت ماشین کاری - استحکام بالاتر در درجات حرارتی کم و زیاد و یا مقاومت بهتر در مقابل خوردگی و اکسیداسیون می گردد .

بر اساس میزان درصد عناصر الیازی موجود در فولاد های الیازی به دو دسته فولادهای کم الیاز (محتوی کمتر از 5٪ عناصر الیازی) و فولادهای پر الیاز (محتوی بیشتر از 5٪ عناصر الیازی) تقسیم میشود.

مقدمه‌ای بر خوردگی

پدیده خوردگی طبق تعریف، واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده، معمولاً یک فلز، و محیط اطراف آن می‌باشد که به تغییر خواص ماده منجر خواهد شد. پدیده خوردگی در تمامی دسته‌های اصلی مواد، شامل فلزات، سرامیکها، پلیمرها و کامپوزیتها اتفاق می‌افتد، اما وقوع آن در فلزات آنقدر شایع و فراگیر بوده و اثرات مخربی بجای می‌گذارد که هرگاه صحبت از خوردگی به میان می‌آید، ناخودآگاه خوردگی یک فلز به ذهن متبادر می‌شود. خوردگی معمولاً فرایندی زیان‌آور است، لیکن گاهی اوقات مفید واقع می‌شود. بطور مثال آلودگی محیط به محصولات خوردگی و آسیب دیدن عملکرد یک سیستم از جنبه‌های زیان‌آور خوردگی و تولید انرژی الکتریکی در یک باتری و حفاظت کاتدی سازه‌های مختلف از فواید آن هستند، اما تاثیرات مخرب و هزینه‌های به بار آمده بواسطه این فرایند به مراتب بیشتر است. با نگاهی به آمار منتشر شده از خسارات مستقیم و غیر مستقیم خوردگی به اقتصاد کشورها می‌توان به هزینه‌های سرسام‌آور این پدیده پی برد. یک مطالعه دو ساله از 1999 تا 2000 در آمریکا نشان داد که هزینه‌های مستقیم خوردگی 276 میلیارد دلار در سال بوده است که این رقم تقریباً 3.1٪ از تولید ناخالص داخلی آمریکا را تشکیل می‌دهد. از این رقم هزینه‌ای بالغ بر 137.9 میلیارد دلار به بخش صنعت که خود دارای زیرشاخه‌های مختلفی است مربوط می‌باشد. در ایران نیز پدیده خوردگی خسارات قابل توجهی را در صنایع گوناگون بوجود آورده است. بر اساس برخی بررسی‌های غیر رسمی، زیان اقتصادی مستقیم ناشی از خوردگی در ایران در سال 1373 حدود 5000 میلیارد ریال، در سال 1375 حدود 9000 میلیارد ریال و در سال 1379 حدود 27500 میلیارد ریال برآورد شده است. کل ارزش ریالی محصولات نهایی تولیدشده توسط واحدهای اقتصادی مقیم کشور سالانه را تولید ناخالص داخلی می‌نامند. هر چند دانش مهندسی خوردگی در برخی از دانشگاههای دنیا از زیر شاخه‌های علم و مهندسی شیمی بوده و ارتباط تنگاتنگی نیز با آن دارد، در کشور ما سیاستگذاری در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری بگونه‌ای بوده است که مهندسی خوردگی، از زیرشاخه‌های مهندسی مواد قرار داده شده است. علم و مهندسی مواد که به شناخت ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی مواد مختلف، روشهای ساخت آنها، روشهای استحصال فلزات و مواد نوین می‌پردازد، به لحاظ ساختار آکادمیک در کشور ما در مقطع کارشناسی دارای سه زیر شاخه مهندسی متالورژی

صنعتی، مهندسی متالورژی استخراجی و مهندسی سرامیک است. در مقطع کارشناسی ارشد، مهندسی مواد به زیرشاخه‌های انتخاب مواد مهندسی، شکل دهی فلزات، خوردگی، استخراج فلزات، سرامیک، بیومواد، ریخته‌گری و جوشکاری طبقه بندی شده است. با این توضیح مشخص است که برای تحصیل در رشته مهندسی خوردگی لازم است تا از مقطع کارشناسی در رشته مهندسی مواد آغاز کرددانش خوردگی مواد، بویژه فلزات همه صنایع را تحت تاثیر خود قرار داده و مهندسین این رشته همواره در تلاش هستند تا روشهای موجود برای مقابله با اثرات زیانبار این پدیده را بهبود بخشیده و یا روشهای نوینی برای این کار بیابند. از آنجا که گستره نفوذ خوردگی در صنایع بسیار وسیع است، بنظر می‌رسد آشنایی با اصول و مبانی فرایند خوردگی و همچنین روشهای عمومی برای کنترل این پدیده برای همه مهندسین ضروری است .

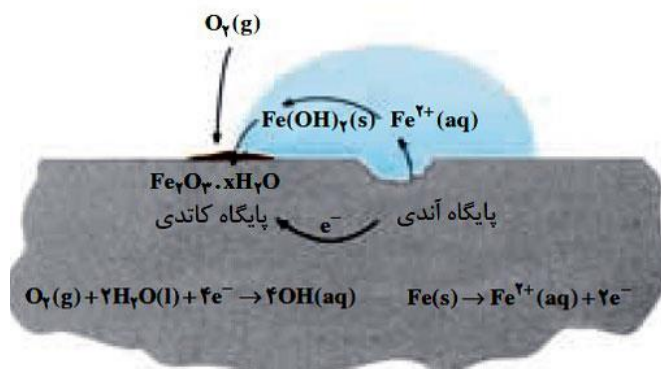
رتبه	کشور	تولید ناخالص داخلی (میلیارد دلار)
—	دنیا	۸۲,۷۶۲
—	اتحادیه اروپا	۱۶,۰۷۳
۱	آمریکا	۱۵,۶۵۳
۲	چین	۱۲,۳۸۳
—	آمریکای لاتین و دریای کارائیب	۷,۲۰۳
۳	هند	۴,۷۱۱
۴	ژاپن	۴,۶۱۷
—	خاورمیانه و شمال آفریقا	۴,۰۶۹
۵	آلمان	۳,۱۹۴
۶	روسیه	۲,۵۱۲
۷	برزیل	۲,۳۶۶
۸	انگلستان	۲,۳۱۶
۹	فرانسه	۲,۲۵۳
—	جنوب آفریقا	۲,۱۰۳
۱۰	ایتالیا	۱,۸۳۴
۱۱	مکزیک	۱,۷۵۸
۱۲	کره جنوبی	۱,۶۲۲
۱۳	کانادا	۱,۴۴۶
۱۴	اسپانیا	۱,۴۰۷
۱۵	اندونزی	۱,۲۱۲
۱۶	ترکیه	۱,۱۲۵
۱۷	ایران	۹۹۷
۱۸	استرالیا	۹۶۱
۱۹	تایوان	۹۰۲
۲۰	لهستان	۸۰۲

تعریف خوردگی

خوردگی تخریب تدریجی مواد را می‌گویند. با توجه به اینکه از لحاظ ترمودینامیکی مواد اکسید شده نسبت به مواد در حالت معمولی در سطح پایین‌تری از انرژی قرار دارند، بنابراین تمایل رسیدن به سطح انرژی پایین‌تر سبب اکسید (خورده) شدن فلز می‌گردد. با این توضیح می‌توان گفت که هیچگاه نمی‌توان به طور کامل از خوردگی جلوگیری نمود، بلکه باید به نحوی میزان خوردگی را به حد قابل قبول رسانید. خوردگی سبب به وجود آمدن زیان‌های فراوانی در کارایی سیستم‌های مختلف می‌گردد. علاوه بر خسارت‌های جانی از نظر اقتصادی نیز خسارت‌های فراوانی ایجاد می‌نماید. به طور کلی برای بررسی یک آلیاژ از نظر مقاومت در برابر خوردگی باید پارامترهای گوناگونی را مورد بررسی قرار داد، اما شاید متداول‌ترین راه برای بررسی مسائل خوردگی و همچنین مقایسه فلزات مختلف با یکدیگر، بیان نمودن سرعت و یا نرخ انجام واکنش خوردگی باشد. برای انجام این کار راهها و مقیاس‌های متفاوتی وجود دارد. برای بیان سرعت خوردگی می‌توان درصد کاهش وزن را بر حسب میلی‌گرم بر سانتیمتر مربع بر روز (mdd) بیان نمود. البته این معیار چندان مناسب نمی‌باشد، زیرا در اکثر موارد محصولات حاصل از واکنش خوردگی (اکسید و یا هیدروکسید فلز) بر روی سطح فلز می‌مانند و در حقیقت سبب افزایش وزن فلز بعد از انجام واکنش خوردگی می‌گردند. بنابراین معمولاً به دلیل اهمیت بیشتر ضخامت قطعه، از معیار هزارم اینچ در سال **mpy** استفاده می‌گردد، یعنی در طول یک سال چه میزان از ضخامت جسم کاسته می‌شود. خوردگی را می‌توان از نظر الکتروشیمیایی نیز مورد بررسی قرار داد. به طور کلی هر واکنشی را که بتوان به دو واکنش جداگانه آندی و کاتدی قسمت نمود، واکنش الکتروشیمیایی می‌نامند. برای انجام واکنش خوردگی سه عامل آند (قسمتی که الکترون تولید می‌نماید و یا به عبارت دیگر اکسید می‌گردد)، کاتد (قسمتی از فلز که الکترون می‌گیرد و یا واکنش احیا در آن صورت می‌گیرد) و در نهایت الکترولیت (مکانی برای برقراری اتصال یونی بین آند و کاتد) لازم می‌باشد. در حقیقت باید بین آند و کاتد هم اتصال الکتریکی (برای مبادله الکترون) و هم اتصال الکترولیتی (برای مبادله یون) برقرار باشد. با از بین بردن هر کدام از این اتصالات واکنش خوردگی نیز متوقف می‌گردد

خوردگی آهن

خوردگی آهن سالانه خسارات هنگفتی به اقتصاد کشورها می زند. به طوری که در کشورهای صنعتی حدود 20 درصد از آهن و فولاد تولیدی برای جایگزین کردن قطعات خورده شده مصرف می شود. در اینجا به فرآیند خوردگی آهن با ذکر و توضیح واکنش های مربوطه می پردازیم تا در مطالب بعد بتوانیم راه های جلوگیری از آن را بررسی کنیم. اکسیژن عنصری با واکنش پذیری بالاست که می تواند هر فلزی به غیر از فلزات نجیب را به طور خودبه خودی اکسید کند. واکنش پذیری بالای اکسیژن از یک سو و تمایل طبیعی برخی فلزها مانند آهن به زنگ

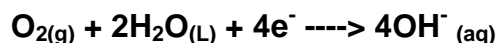


زدن و اکسید شدن از سوی دیگر، سبب می شود به مرور زمان فلز ترد و خرد شده و فرو بریزد. به ترد شدن و خرد شدن و فرو ریختن فلزها بر اثر اکسایش خوردگی گفته می شود. نکته: فلزات نجیب فلزاتی هستند که دچار خوردگی نمی شوند و عبارتند از: طلا، پلاتین، پالادیمبه جز اکسیژن عوامی دیگری نیز می توانند باعث خوردگی فلزها شوند. برخی فلزها بر اثر مجاورت با آب یا یک محلول اسیدی دچار خوردگی می شوند. نحوه ی انجام خوردگی آهن تا حدودی شبیه به سلول های الکتروشیمیایی گالوانی است، زیرا یک فرایند اکسایش- کاهش بوده که نیم واکنش اکسایش و نیم واکنش کاهش در دو بخش مختلف قطعه ی آهن رخ می دهند. پایگاه آندی محل انجام نیم واکنش اکسایش و پایگاه کاتدی محل انجام نیم واکنش کاهش خوانده می شود. پایگاه آندی جایی است که غلظت اکسیژن کم باشد و پایگاه کاتدی معمولاً در نقاطی تشکیل می شود که غلظت اکسیژن زیاد باشد

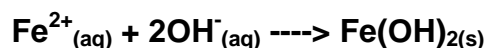
هنگامی که آهن در معرض رطوبت محلول در آب aqueous قرار می گیرد اکسید شده و الکترون از دست می دهد



الکترون ها از میان فلز و از پایگاه آندی به سمت پایگاه کاتدی جریان می یابند. از آنجایی که فلز آهن باعث انتقال الکترون ها از پایگاه آندی به سمت پایگاه کاتدی می شود، به فلز آهن، رسانای الکترونی یا مدار درونی می گویند. در پایگاه کاتدی الکترون ها در حضور اکسیژن و آب نیم واکنش کاتدی را صورت می دهند .



هم زمان که الکترون ها از پایگاه آندی در داخل فلز به پایگاه کاتدی منتقل می شوند، یون های $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ حاصل از نیم واکنش آندی نیز در قطره ی آب جریان یافته و از پایگاه آندی به سمت پایگاه کاتدی رفته و در آنجا رسوب $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ را به وجود می آورند.

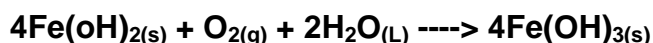


از آنجایی که قطره ی آب باعث انتقال یون ها می شود به آن رسانای یونی یا مدار بیرونی می گویند.

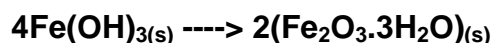


نکته : بدون آب، مدار الکتریکی مربوط به زنگ زدن آهن کامل نیست و زنگ زدن روی نمی دهد.

رسوب $\text{Fe}(\text{OH})_2$ به وسیله ی اکسیژن و آب اکسایش یافته و تبدیل به رسوب $\text{Fe}(\text{OH})_3$ می شود.

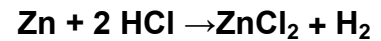


نهایتا $\text{Fe}(\text{OH})_3$ با از دست دادن آب تبدیل به آهن (III) اکسید آب پوشیده یا زنگ آهن می شود.



خوردگی روی

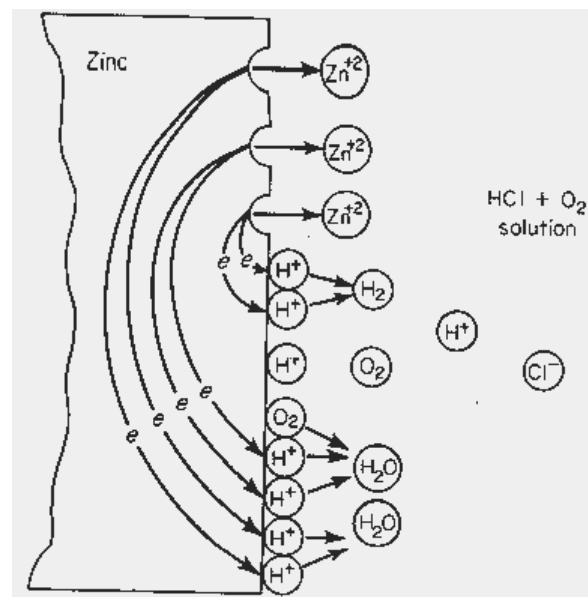
به عنوان مثال در واکنش خورده شدن روی در محیط اسید کلریدریک محصول نهایی واکنش کلرور روی و گاز هیدروژن می باشد که از طریق واکنش زیر انجام می گردد :



به طور خلاصه می توان واکنش های اکسیداسیون و احیا را برای این واکنش به صورت زیر بیان نمود:



در شکل زیر نمایی از چگونگی انجام واکنش خوردگی فلز روی در محلول اسید کلریدریک حاوی اکسیژن نشان داده شده است.



نمایی از چگونگی انجام واکنش خوردگی فلز روی در محیط اسید کلریدریک حاوی اکسیژن

نکته مهم در واکنش های اکسیداسیون و احیا سرعت انجام واکنش ها می باشد. طبق اصول سینتیکی باید سرعت انجام واکنش اکسیداسیون با سرعت انجام واکنش احیا برابر باشد. بنابراین با تحت کنترل قرار دادن هر یک از این دو واکنش می توان سرعت انجام واکنش دیگر و در نتیجه سرعت انجام واکنش خوردگی را تحت کنترل در آورد.

از طرف دیگر اگر در سیستم خوردگی به جای یک عامل احیا چندین عامل احیا وجود داشته باشد، به عنوان مثال در همان اسید کلریدریک اگر اکسیژن نیز وجود داشته باشد، آنگاه دو واکنش احیا هیدروژن و واکنش احیا آب همزمان انجام خواهند شد. به این ترتیب به دلیل افزایش در میزان مصرف کننده‌های الکترون، باید بر میزان سرعت تولید الکترون نیز افزوده گردد و به این دلیل سرعت خوردگی فلز روی افزایش خواهد یافت.

علاوه بر فاکتورهای محیطی و محیط خوردنده، بعضی فاکتورهای فلزی و متالورژیکی نیز در آغاز و نرخ پیشرفت واکنش‌های خوردگی تاثیرگذار می‌باشند. به عنوان مثال مرزهای دانه، مرزهای دوقلویی، ناخالصی‌ها و نابجاییها می‌توانند به دلیل داشتن انرژی بالاتر نسبت به نقاط اطراف خود به صورت آند موضعی درآمده و سبب آغاز فرایند خوردگی گردند .

خوردگی و حفاظت از فلزات

بدون شک یکی از مهمترین مسایل مبتلا به صنعت و به خصوص صنعت نفت و صنایع وابسته به آن از قبیل گاز و پتروشیمی، وجود مشکلات خوردگی میباشد. خوردگی رامیتوان از جنبه های گوناگون اقتصادی، صنعتی و زیست محیطی بررسی کرد. هزینه های خوردگی کل هزینه سالانه سیلها، گردبادها، آتش سوزیها، رعدوبرقها و زمین لرزهها کمتر از هزینه خوردگی میباشد. مطالعات و بررسیها نشان داده که هزینه ها و خسارات ناشی از خوردگی حدود 2 تا 4 درصد تولید ناخالص ملی است که در حدود 51 الی 21 درصد آن ممکن است با اعمال روش های مناسب کاهش داده شود.

انواع خوردگی :

1 – خوردگی یکنواخت (uniform corrosion)

2 – خوردگی گالوانیکی (galvanic corrosion)

3 – خوردگی شیاری (crevice corrosion)

- 4 - خوردگی حفره ای (pitting corrosion)
 - 5 - خوردگی بین دانه ای (intergranular corrosion)
 - 6 - جدایش انتخابی (selective leaching)
 - 7 - خوردگی سایشی (erosion corrosion)
 - 8 - خوردگی فرسایشی (fretting corrosion)
 - 9 - خوردگی مکانیکی (stress corrosion cracking) scc
 - 10 - خوردگی خستگی (fatigue corrosion)
- 1 - خوردگی یکنواخت (Uniform corrosion) :**

از بین رفتن تدریجی سطح فلز در مواقعی که فلزات با اسید و محلول های دیگر در تماس هستند بسیار معمول است . لکن وجود یک محلول همواره ضرور نیست . بطور مثال اکسیداسیون در درجه حرارت های بالا نوعی خوردگی یکنواخت است که می تواند در یک اتمسفر نسبتاً خشک نیز اتفاق بیفتد .



خوردگی یکنواخت معمول ترین و متداول ترین نوع خوردگی است معمولاً به وسیله یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی به طور یکنواخت در سرتاسر سطحی که در تماس با محلول خورنده قرار دارد، مشخص می شود فلز نازک و نازک تر شده و نهایتاً از بین می رود یا تجهیزات مورد نظر منهدم می شوند مانند خوردگی شدن یک قطعه فولادی یاروی در داخل یک محلول رقیق با سرعت یکسانی در تمام نقاط قطعه خورده می شود. این نوع خوردگی بالاترین آمار را دارد و عمر تجهیزات خورده شده را با قرار دادن نمونه های پدیدر داخل محلول خورنده می توان تخمین زد.



2 - خوردگی گالوانیکی (Galvanic corrosion)

زمانی که دو فلز غیر هم جنس در یک محیط خورنده یا محلول الکترولیتی به صورت فیزیکی یا الکتریکی در تماس باشند، اختلاف پتانسیل موجود باعث جریان الکترون ها در این بین می گردد و بسته به مقاومت مواد منجر به خوردگی در ماده ضعیف تر می گردد. فلزاتی که ضعیف تر می باشند به نام آند با عدد نوبل کمتر و فلزات مقاوم تر با عدد نوبل بیشتر بوده و کاتد نامیده می شوند.



محل رخ دادن در مبدل های حرارتی :

- محل تماس تیوب به تیوب شیت در قسمت داخلی / محل تماس تیوب به تیوب شیت در قسمت جلویی.
- محل تماس تیوب به سوراخ بفل و یا تماس لبه بفل به بدنه داخلی پوسته مبدل.

خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی :

هنگامی که دو فلز غیر همجنس که در تماس الکتریکی با یکدیگر هستند در معرض یکمحلول هادی یا خورنده قرار بگیرند. اختلاف پتانسیل بین آن دو باعث برقرای جریانالکترون بین آنها می شود. فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد آندی شده و خوردهمی شود. فلز مقاومتر از نظر خوردگی کاتدی می شود که معمولاً خیلی کم و یا خورددهنمی شود. به دلیل وجود جریان های الکتریکی بین فلزات غیر هم جنس این نوع خوردگی، خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی اطلاق می شود.



3 - خوردگی شیاری (crevice corrosion) :

این نوع خوردگی زمانی که سیال خورنده به صورت راکد در بین ناحیه باریک دو فلز در تماس است و یا در زیر سطوح پوشش دار و نیز در محل تجمع رسوبات رخ می دهد. پس از شروع اینگونه خوردگی سریعاً منتشر شده و گسترش پیدا می کند. راه حل عملی جهت مقابله با این نوع خوردگی، دقت در طراحی مبدل به منظور حذف محل تجمع سیال خورنده در بین نقاط یاد شده می باشد.

محل رخ دادن در مبدل های گرمایی

- فضای باز بین تیوب و سوراخ تیوب شیت
- فضای باز بین تیوب و سوراخ بفلها
- در محل فضای زیر ناحیه جوشکاری تیوب شیت های از نوع ثابت (Fixed Tube Sheet)
- زیر محل تماس سطح گسکت ها
- زیر محل نشیمن سر پیچ و مهره ها



اکثراً در شیارها و نواحی دیگری روی سطح فلز که حالت مرده SHELDED AREAS دارند در معرض محیط خورنده قرار می گیرند خوردگی موضعی شدیدی اتفاق می افتد. این نوع خوردگی معمولاً همراه با حجم های کوچک محلول ها یا مایعات که در اثر وجود سوراخ سطوح واشرها، محل روی هم قرار گرفتن دو فلز LAPJOINIS ، رسوبات سطحی و شیارهای زیر پیچ، مهره ها و میخ پرچها ساکن شده اند (حالت مرده) می باشد اتفاق می افتد به همین دلیل این نوع خوردگی، خوردگی شیاری یا لکه ای یا واشری نیز می گویند.



4 - خوردگی حفره ای (pitting corrosion):

به طور کلی این خوردگی از نوع مخرب (Destructive) و به علت ضربه های ناشی از برخورد ذرات ریز نامحلول در سیال به فلز می باشد. این نوع خوردگی به صورت حفره های ریز در سطوح زیر و نا صاف بیشتر می باشد. پ

محل رخ دادن در مبدل های گرمایی

- درون سطح داخلی تیوب ها به علت سرعت زیاد عبور سیال.
- نقاطی از مبدل که سیال در آن تغییر مسیر می دهد.



خوردگی حفره ای، (به انگلیسی: *Pitting corrosion*) نوعی خوردگی موضعی می باشد که باعث ایجاد حفره های کوچک در فلزات می شود. عامل این پدیده نرسیدن اکسیژن به بخش کوچکی از سطح می باشد. در این شرایط، این بخش نقش آند را بازی می کند و بخشی که دارای اکسیژن بالا است نقش کاتد را ایفا می کند که حاصل آن ایجاد خوردگی گالوانیک می باشد. خوردگی حفره ای یکی از عوامل اصلی خرابی چرخ دنده ها است.



5 - خوردگی بین دانه ای (intergranular corrosion) :

این نوع خوردگی وقتی رخ می دهد که مرز دانه ها در یک فلز پلی کریستال به صورت ترجیحی مورد حمله قرار می گیرد . چندین عامل می توانند آلیاژی مثل فولاد زنگ نزن آستنیتی را مستعد این نوع خوردگی سازند . از جمله حضور ناخالصی ها و غنی بودن یا تهی بودن مرزدانه از یکی از عناصر آلیاژی .



□□ خوردگی بین دانه ای به وسیله ناخالصی های موجود در مرزدانه ها، غنی شدن یا فقیر شدن DEPLETION مرزدانه ها نسبت به یک عنصر آلیاژی در این نواحی واقع می شود. مثلاً فقیر شدن مرزدانه ها نسبت به کرم باعث خوردگی بین دانه ای فولادهای زنگ نزن می گردد.

□□ این پدیده در حالت های حساس شدن SENSITIZATION فلزات به وجود می آیند. مثلاً فولاد زنگ نزن ۸-۱۸ در محدوده ی ۹۵۰ تا ۴۵۰ اگر حرارت داده شوند حساس شده و مستعد خوردگی بین دانه ای می باشد.



6 – جدایش انتخابی (selective leaching):

گاهی اوقات چدن خاکستری جدایش انتخابی از خود نشان می‌دهد مخصوصاً در محیط‌هایی که از نظر خوردگی نسبتاً متوسط می‌باشند. به نظر می‌رسد که سطح چدن گرافیته شده، زیرا سطح چدن ظاهر گرافیتی به خود گرفته و به سهولت می‌توان به وسیله قلم تراش آن را تراشید، به همین دلیل این پدیده را گرافیته شدن و گاهی خوردگی گرافیتی گویند که این نام‌گذاری غلط می‌باشد و در واقع جدایش انتخابی کربن از آلیاژ چدن می‌باشد



این نوع خوردگی انتخابی وقتی رخ می‌دهد که عنصری از یک آلیاژ جامد از طریق یک فرآیند خوردگی ترجیحی و عموماً با قرار گرفتن آلیاژ در معرض اسیدهای آبی خورده می‌شود. متداول‌ترین مثال جدا شدن روی از آلیاژ برنج است. ولی آلومینیوم، آهن، کبالت و زیرکونیم نیز این قابلیت را دارند.



7 - خوردگی سایشی (erosion corrosion):

خوردگی سایشی عبارت است از سرعت یافتن یا افزایش سرعت خوردگی یا از بین رفتن یک فلز در اثر حرکت نسبی بین یک مایع خورنده و سطح فلز. معمولاً این حرکت خیلی سریع است و اثرات سایش مکانیکی و یا سائیده شدن وجود دارد. یونهای فلزی حل شده روی سطح فلز در اثر حرکت روی سطح باقی نمی ماند، یا محصولات جامد حاصل از خوردگی از سطح فلز به طریق مکانیکی کنده می شوند. گاهی اوقات حرکت باعث تقلیل سرعت خوردگی می گردد. مخصوصاً موقعی که تحت شرایط ساکن خوردگی موضعی اتفاق بیافتد. اما این خوردگی سایشی نیست زیرا سرعت خوردگی افزایش نیافته است.



خوردگی سایشی دارای ظاهری شبیه دار **GULLIES**، موجی شکل، سوراخ های کروی شکل و ناهموار می باشد که در جهت خاصی قرار گرفته اند.

بیشتر در فلزاتی که سختی پائینی دارند و به سهولت صدمه می بینند مانند مس و سرب روی می دهد.

کلیه تجهیزاتی که در تماس با مایعات متحرک می باشند در معرض خوردگی سایشی قرار دارند مانند سیستم های لوله کشی مخصوصاً زانوها **ELBOW**، پیچ ها **BENS**، سه راهی ها **TESE**، شیرها **VALVES**، پمپ ها پدمنده، دستگاه های گریز از مرکز، پروانه ها **IMPELLERS**، به هم زن ها **AGITATORS**، تانک های متحرک **AGITATED**، لوله های مبدل حرارتی مانند بویلرها و کندانسورها، پره های توربین، افشانه ها، دودکش ها، گیوتین ها **GUTTERS**، زره های آسیاب **PLATES WEAR** و تجهیزاتی که در معرض پاشیدن **(SPRAY)** قرار می گیرند.

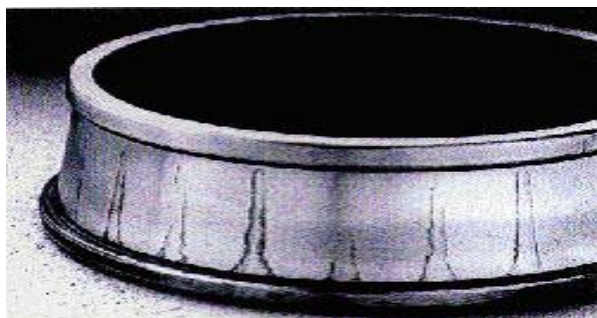


8 - خوردگی فرسایشی (fretting corrosion):

این نوع خوردگی وقتی رخ می دهد که محیطی نسبت به یک محیط ثابت دیگر حرکت کند (به عنوان نمونه مایع یا دوغابی که درون یک لوله جریان دارد) یک پدیده مرتبط با این گونه خوردگی ، سایش **Fretting** است که هنگام تماس دو ماده با یکدیگر و حرکت نسبی آنها از جمله ارتعاش به وجود می آید . این عمل می تواند پوشش های ضد خوردگی را از بین برده و باعث آغاز خوردگی شود .



خوردگی فرسایشی: که با سایش بین یک ماده ی جامد یا مایع یا حتی گاز با فلز موجب خوردگی فرسایشی می شود مانند خوردگی لوله های آب به وسیله ی عبور آب از درون آن.



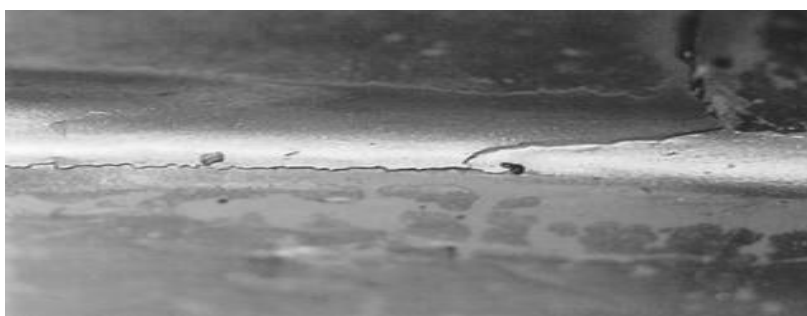
9- خوردگی مکانیکی SCC :

خوردگی مکانیکی در اثر ترک خوردگی ناشی از ترکیب همزمان اثر تنش کششی و نیز در معرض محیط های خورنده بودن رخ می دهد.

تنش کششی مورد نیاز برای شروع ترک ممکن است حاصل تنش های پسماند به علت فرم دهی، جوشکاری، ماشین کاری و سنگ زنی بوده یا اینکه ناشی از تنش های وارده به صورت مستقیم باشد.

محل رخ دادن در مبدل های گرمایی

در مناطقی که فرم دهی سرد صورت می گیرد از قبیل ناحیه U شکل تیوب ها و نیز در ناحیه اکسپند تیوب به تیوب شیت به روش غلطکی.



خوردگی مکانیکی (stress corrosion cracking)

افزایش تنش، زمان شکست را کاهش می دهد و برای هر آلیاژ تنشی وجود دارد که در کمتر از آن شکست اتفاق نخواهد افتاد. حد تنش مجاز برای مصونیت از نظر SCC بستگی به درجه حرارت، ترکیب شیمیایی فلز و ترکیب شیمیایی محیط دارد. بطور کلی حد تنش مجاز بین ۱۰% تا ۷۰٪ درصد تنش تسلیم است. زمان در SCC پارامتر مهمی است، زیرا خسارت فیزیکی مهمی که در SCC اتفاق می افتد در مراحل نهایی صورت می گیرد. با نفوذ ترک ها به داخل فلز سطح مقطع مؤثر فلز کم می شود و در نتیجه تنش افزایش می یابد و نهایتاً شکست نهایی، مکانیکی خواهد بود.



10 - خوردگی خستگی (fatigue corrosion) :

خوردگی توأم با خستگی: خستگی عبارت است از تمایل فلز به شکست در اثر تنش های متناوب، خوردگی خستگی، تقلیل مقاومت خستگی فلز، در اثر وجود محیط خورنده ایجاد می شود.



خوردگی خستگی تقلیل مقاومت خستگی در اثر وجود محیط خورنده می باشد. بنابراین خوردگی خستگی بر طبق ظاهر شکست تعیین نمیگردد بلکه بر حسب خواص مکانیکی تعریف میگردد. اگر چه مکانیزم و یا مکانیزمهای این نوع خوردگی هنوز روشن نشده ولی معلوم شده است که شروع ترکها و رشد آنها در برابر متغیرهای محیطی عکس العملهای مختلفی نشان میدهد.

