فصل اول

«شناخت و ساختار مواد»

هر چیز که جرم داشته باشد و حجمی را اشغال کند، ماده (Material) نام دارد و مجموعه ماده را مواد گویند.

علم مواد دانشی است فراتر از شناخت هر یک از مواد، که به خواص آن‌ها در ارتباط با یکدیگر جهت پیشبرد اهداف صنعتی و نیز کاربرد آن‌ها در زندگی روزمره می‌پردازد.

علم مواد: دانش مربوط به ترکیب شیمیائی، ساختار، تغییر شکل مواد و ارتباط خواص مواد برای نیل به خواص مورد نظر و نحوه کاربرد آن‌هاست.

در پیگیری اهداف شناخت و کاربرد مواد بهتر است ابتدا به دسته‌بندی مواد بپردازیم.

به طور کلی مواد به دو دسته اصلی (معدنی و آلی) و یک دسته فرعی (کامپوزیت) تقسیم می‌شود.

مواد آلی: موادی هستند که ترکیب اصلی آن‌ها از کربن و هیدروژن تشکیل شده باشد. با توجه به این تعریف، تمام مواد با پایه هیدروکربوری ($C_nH_{2n\pm2}$) فرآورده‌های نفتی، مواد گیاهی، زغال سنگ‌ها و ... از مواد آلی به حساب می‌آیند.

مواد معدنی: موادی هستند که ترکیب پایه آن‌ها از ترکیبی غیر از کربن و هیدروژن تشکیل شده باشد. اکسیدها، کربنات‌ها، فسفات‌ها و نیتریدها و سیلیکات‌ها و ... از جمله این مواد هستند. بیشتر ترکیبات کره زمین و جو را اکسیدها تشکیل می‌دهند که کانی (ores) نامیده می‌شوند. اکسیدها از جمله منابع و ذخایر اصلی زیرزمینی هستند که پس از کاوش و پالایش آن‌ها می‌توان مواد ترکیبی مورد استفاده در زندگی روزمره از جمله فلزات را بدست آورد. مواد سرامیکی از جمله این ترکیبات هستند.

به طور کلی، تمامی مواد جامد معدنی غیر فلزی را مواد سرامیکی می‌نامند. منبع اصلی تشکیل دهنده سرامیک‌ها، اکسیدها می‌باشند، مثل اکسید سیلیسیم، اکسید آهن، اکسید منیزیوم، اکسید آلومینیوم و غیره. گاهی بعضی از اکسیدها نظیر اکسید آلومینیوم و منیزیوم مصارف پزشکی دارند و بعنوان شربت معده و ... از آن‌ها استفاده می‌شود و گاهی نیز همین مواد بعنوان ترکیبات دیرگداز در تهیه آجرهای دیرگداز استفاده می‌شوند. همین مواد اگر به صورت غیر جامد در طبیعت باشند به عنوان مواد سرامیکی شناخته نمی‌شوند.

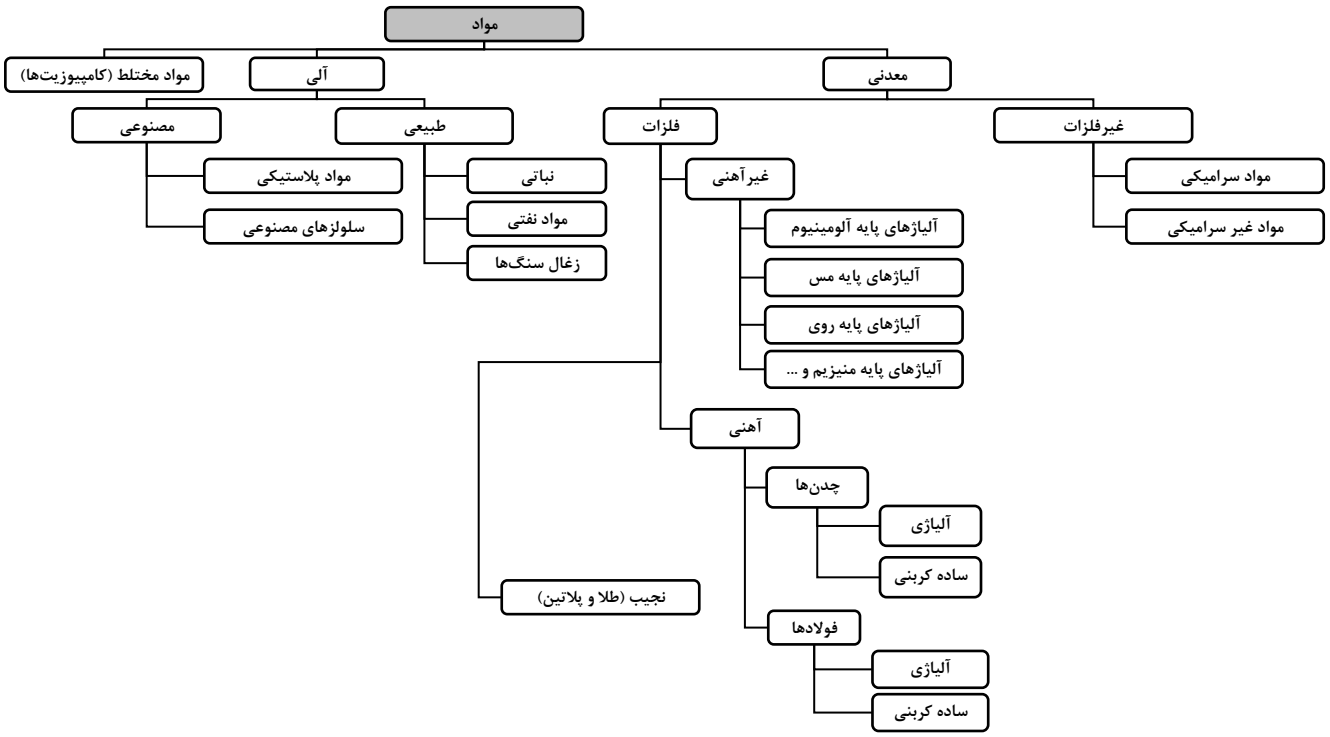
گاهی بعضی از فلزات مثل طلا نیز بصورت طبیعی وجود دارند و چون با اکسیژن و سایر عناصر بصورت مستقیم ترکیب نمی‌شوند، به فلزات نجیب معروف‌اند؛ اما اکثر فلزات و آلیاژها بصورت مستقیم در طبیعت یافت نمی‌شوند که باید آن‌ها را استخراج کرد. شرح نحوه استخراج آن‌ها در این کتاب نمی‌گنجد و مطالعه آن‌ها به ازای استخراج هر عنصر فلزی یا ترکیبات آن‌ها به طور تخصصی به کتاب‌های مربوطه موکول می‌گردد. در جدول صفحه بعد به فراوانی عناصر پرداخته شده است. با توجه به جدول فراوانی عناصر در طبیعت، بصورت ترکیب یا خالص مختلف‌اند و اهمیت هر یک از آن‌ها به ضرورت استفاده از آن‌ها در مقاطع زمانی مختلف مربوط می‌گردد. مثلاً عنصر اکسیژن حدود ۴۶/۴۶ درصد کل ترکیبات جو کره زمین را تشکیل می‌دهد که بصورت خالص مولکولی یا بصورت اکسید وجود دارد. ولی کربن که امروزه به منظور پیشبرد صنعت اهمیت زیادی در جهان پیدا کرده است، حدود ۰/۰۹ درصد کره زمین یعنی، کمتر از ۰/۱ درصد از آن را تشکیل می‌دهد.

جدول درصد فراوانی

نام عنصر	علامت اختصاری	مقدار درصد فراوانی در کره‌ی زمین	نام عنصر	علامت اختصاری	مقدار درصد فراوانی در کره‌ی زمین
اکسیژن	O	۴۶/۴۶	هیدروژن	H	۰/۱۴
سیلیسیم	Si	۲۷/۶۷	فسفر	P	۰/۱۲
آلومینیوم	Al	۸/۰۷	کربن	C	۰/۰۹
آهن	Fe	۵/۰۶	منگنز	Mn	۰/۰۹
کلسیم	Ca	۳/۶۴	گوگرد	S	۰/۰۶
سدیم	Na	۲/۷۵	کلر	Cl	۰/۰۵
پتاسیم	K	۲/۵۸	فلوئور	F	۰/۰۳
منیزیم	Mg	۲/۰۷	استرانسیم	Sr	۰/۰۲
تیتانیوم	Ti	۰/۶۲	بقیه عناصر		۰/۵

با دقت در جدول بالا می‌بینیم که ۱۷ مورد از این عناصر حدود ۹۹/۵% جرم کل کره زمین و جو آن را تشکیل می‌دهند. در حالی که بقیه عناصر که ۹۰ عنصر از ۱۰۷ عنصر شناخته شده بصورت طبیعی و مصنوعی هستند، فقط ۰/۵ درصد کل کره زمین و جو آن را شامل می‌شوند که از آن جمله طلا و پلاتین هستند که نبض تغییرات و رشد یا افول اقتصاد جهان را در دست دارند.

از طرفی ترکیبات و مواد موجود در کره زمین به دو دسته اصلی و یک دسته فرعی، به شرح جدول زیر قابل تقسیم هستند.



مثال۱: سلولزهای مصنوعی بیشتر در کدام دسته‌بندی مواد قرار می‌گیرند؟

۱) آلی ـ طبیعی ۲) آلی ـ مصنوعی ۳) سرامیک‌ها ۴) طبیعی ـ نباتی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» سلولزهای مصنوعی زیرشاخه مصنوعی مواد آلی هستند.

مثال۲: کدام مواد در دسته غیر فلزات قرار می‌گیرند؟

۱) چدن‌ها ۲) فولادها ۳) مواد سرامیکی ۴) برنزها

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» مواد سرامیکی از غیر فلزات معدنی هستند.

برای درک بهتر مطالب فوق، هرکدام از مطالب موجود در دسته‌بندی جدول را به ترتیب اهمیت در جای خود بررسی می‌کنیم. ضمناً به ازای ارائه مطالب سؤالاتی متناسب با آن مطالب نیز مطرح خواهد شد.

تست‌های تألیفی فصل دوم

۱ـ در کدام روش سختی‌سنجی ابزار فرورونده مربوطه هرم مربع القاعده است؟

۱) راکول ۲) ویکرز ۳) برینل ۴) موهس

۲ـ حداکثر نیرویی که باعث تغییر شکل موقت در یک جسم می‌شود، کدام است؟

۱) حد الاستیسیته ۲) حد پلاستیسیته ۳) حداکثر تحمل ۴) حد پارگی

۳ـ روش برینل معمولاً برای سختی‌سنجی آلیاژهای کدام فلز استفاده می‌شود؟

۱) چدن ۲) فولاد ۳) کادمیم ۴) آلومینیوم

۴ـ ضریب الاستیکی مواد به ..... آن‌ها بستگی دارد.

۱) قدرت اتصال اتمی در شبکه کریستالی ۲) قدرت جاذبه و دافعه بین اتم‌ها
۳) خواص فلزی و یا غیر فلزی ۴) انحلال بین‌نشینی یا جانشینی

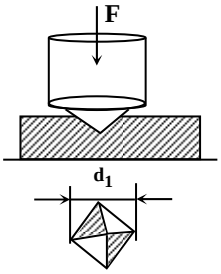
۵ـ لغزش مکانیکی در یک قطعه فلزی به کدام عوامل بستگی دارد؟

۱) فقط صفحات لغزش ۲) صفحات و جهت لغزش ۳) فقط جهات لغزش ۴) صفحات لغزش و نابجایی

۶ـ کدام روش سختی‌سنجی برای فلزات سخت دقت بیشتری دارد؟

۱) راکول C ۲) راکول B ۳) برینل ۴) موهس

۷ـ شکل زیر معرف کدام روش سختی‌سنجی است؟

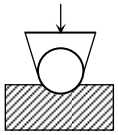


۱) برینل
۲) راکول A
۳) ویکرز
۴) راکول C

۸ـ علت شکست فلزات و آلیاژها در اثر نیروهای کم ولی تکراری کدام است؟

۱) خستگی مکانیکی ۲) تغییر فاز داخلی ۳) سخت شدن در اثر نیرو ۴) گرم شدن در اثر نیرو

۹ـ شکل زیر کدام روش سختی‌سنجی را نشان داده است؟



۱) برینل
۲) ویکرز
۳) راکول A
۴) راکول C

۱۰ـ در شکست فلزات و آلیاژها کدام مورد تأثیر بیشتری دارد؟

۱) نورد و فشار ۲) اثر نیروهای تناوبی
۳) افزایش عیوب کریستالی ۴) وارد کردن نیروهای الاستیکی

۱۱ـ پس از کار مکانیکی روی قطعات و آلیاژها .....

۱) تنش داخلی در آن‌ها افزایش می‌یابد. ۲) تنش داخلی در آن‌ها کاهش می‌یابد.
۳) مقاومت کششی در آن‌ها کاهش می‌یابد. ۴) قطعات شکل‌پذیر می‌شوند.

۱۲ـ تغییر متوالی درجه حرارت سبب ایجاد کدام عیب مکانیکی در قطعات می‌شود؟

۱) خستگی مکانیکی ۲) تردی و شکنندگی ۳) شکست نابهنگام ۴) عدم مقاومت به پیچش

پاسخنامه تست‌های تألیفی فصل دوم

۱ـ گزینه «۲» در روش سختی سنجی ویکرز ابزار فرورونده، هرم مربع القاعده است.

۲ـ گزینه «۱» تنها نیرویی که به طور موقت باعث تغییر شکل قطعات می‌شود و پس از برداشتن نیرو ابعاد قطعات به اندازه اولیه برمی‌گردد، نیروی الاستیسیته یا ارتجاعی می‌باشد.

۳ـ گزینه «۴» روش برینل برای سختی‌سنجی کلیه فلزات مورد استفاده است؛ ولی برای آلیاژهای پایه آلومینیوم بیشتر کاربرد دارد.

۴ـ گزینه «۱» ضریب الاستیسیته به قدرت پیوند اتمی بین فلزات بستگی دارد.

۵ـ گزینه «۲» صفحات و جهات لغزش به طور کلی باعث لغزش مکانیکی داخلی قطعه می‌شوند.

۶ـ گزینه «۱» چون جسم فرورونده در راکول **C** مخروطی نوک تیز است، بنابراین تأثیرگذاری روی نمونه به وسیله آن بیشتر بوده و برای فلزات سخت کاربرد بیشتری دارد.

۷ـ گزینه «۳» فقط در روش ویکرز اثر به جای مانده روی نمونه مربع است.

۸ـ گزینه «۱» خستگی مکانیکی در اثر نیروهای تکراری وارد بر جسم، باعث شکست قطعات فلزی می‌شود.

۹ـ گزینه «۱» روش سختی سنجی برینل را نشان می‌دهد زیرا در آن جسم فرو رونده به شکل گلوله است.

۱۰ـ گزینه «۲» اثر نیروهای تناوبی در شکست فلزها و آلیاژها از تأثیر مهم‌تری برخوردار است.

۱۱ـ گزینه «۱» کار مکانیکی روی قطعات همواره تنش داخلی را در آن‌ها افزایش می‌دهد.

۱۲ـ گزینه «۱» گرم و سرد کردن قطعات باعث خستگی مکانیکی قطعات می‌شود.

۱۳ـ گزینه «۳» عنصر سیلیسیم در آلیاژ پایه آلومینیوم تا حدود ترکیب یوتکتیک (۱۱/۷ سیلیسیم در آلومینیوم) باعث بهبود سیالیت مذاب و کاهش فاصله انجماد وکاهش فاصله انجماد آلیاژ آلومینیوم شده و نیز همین عنصر همراه با فلز مس باعث بهبود استحکام کششی آلیاژ می‌شوند.

۱۴ـ گزینه «۴» آزمایش مافوق صوت برای تشخیص ترک و حفره در قطعات نیمه‌ساخته و ساخته شده استفاده می‌شود.

۱۵ـ گزینه «۱» وسیله نفوذ کننده در آزمایش ویکرز معمولاً هرم مربع القاعده از جنس الماس با زاویه رأس 136° می‌باشد.

۱۶ـ گزینه «۱» فقط گزینه (۱) صحیح است. نقطه تسلیم R_f است.

مدرسان شریف

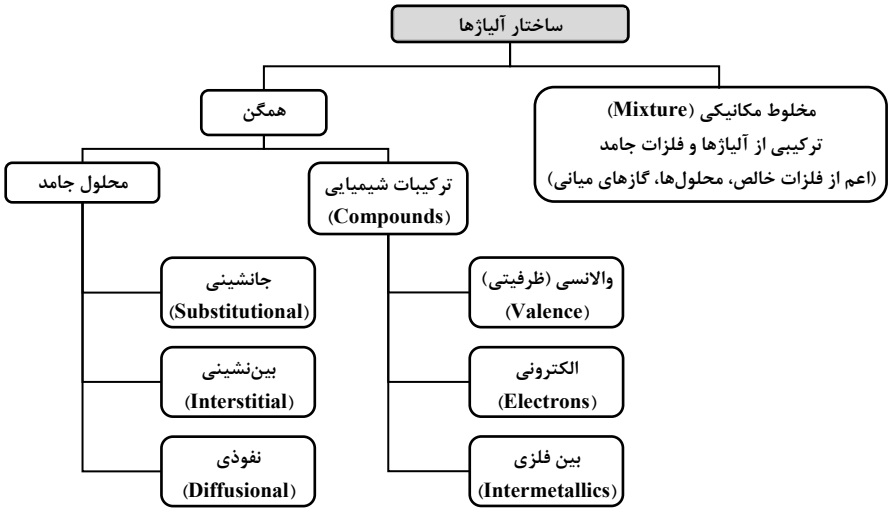
فصل سوم

« آلیاژها »

آلیاژها و روش‌های تهیه آن‌ها

می‌دانیم که در صنایع مختلف به خصوص صنایع مکانیک، فلزات خالص کاربردی ندارند، چرا که خواص مکانیکی و عمومی آن‌ها جوابگوی پیشرفت روزمره صنایع نیست. امروزه برای رسیدن به خواص مطلوب در تهیه قطعات صنعتی، آن‌ها را آلیاژی می‌کنند. به عبارت دیگر با استفاده از افزایش عناصر مختلف به فلز پایه، خواص جدید و بهینه‌تری در قطعات صنعتی ایجاد کرده تا جوابگوی صنایع مورد نظر باشد.

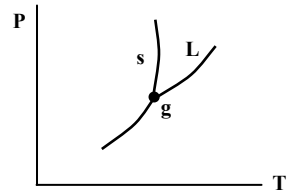
به قطعات جدید با خواص مکانیکی و عمومی بهتر آلیاژ می‌گویند. افزایش عناصر آلیاژی به فلز پایه تأثیرات مختلفی در فلز ایجاد می‌کند، که از آن جمله می‌توان به حل شدن آن در فلز پایه، ایجاد ترکیب شیمیایی با فلز پایه یا قرار گرفتن ساختمان آن در کنار ساختمان فلز پایه اشاره کرد. در نتیجه خواص فلز پایه بهبود یافته و صنعتگر به هدف خود نایل می‌شود. با این مقدمه می‌توان گفت، آلیاژ عبارت است از: انحلال، ترکیب شیمیایی یا مخلوط مکانیکی دو یا چند عنصر که در آن عنصر پایه، فلز باشد و در کل خواص فلزی داشته باشد و خواص مطلوب آن از هر یک از عناصر تشکیل دهنده بهتر باشد.ساختار آلیاژها به صورت نمودار زیر نشان داده شده است:



فازها ــ قانون فازها

قبل از این‌که به بحث بیشتر در مورد نمودارهای تعادل آلیاژهای دوتایی بپردازیم، لازم است فازها و قوانین مربوط به آن شناخته شوند.

فاز، قسمتی از سیستم است که از لحاظ فیزیکی و شیمیایی همگن باشد و به وسیله سطحی به نام سطح مشترک از قسمت‌های دیگر سیستم جدا شود. یک سیستم یا آلیاژ متشکل از مخلوطی از فازهای یک یا چند مؤلفه در فشارها و غلظت‌های مختلف است. مؤلفه‌ها یا اجزاء، موادی هستند (عناصر یا ترکیبات شیمیایی) که وجودشان برای تشکیل یک سیستم لازم و کافی می‌باشد. مثلاً یک فلز خالص شامل یک سیستم تک‌جزئی است، آلیاژی از دو فلز، یک سیستم دو جزئی است و به همین ترتیب آلیاژی از چند فلز... . همچنین یک محلول مذاب همگن، یک سیستم تک فازی است.



مخلوطی از دو نوع کریستال از نظر ساختمان و ترکیب تفاوت دارد و به وسیله یک سطح مشترک مجزا می‌گردد و یا وجود آلیاژ مذاب و کریستال‌های جامد جزو سیستم‌های دو فازی می‌باشد. نیز در مورد وجود تکه‌ای یخ $C^{\circ}\circ$ در آب صفر درجه سانتی‌گراد می‌توان دیاگرام سه‌گانه P را رسم نمود که در آن P فشار، T درجه حرارت، S جامد، L مذاب (مایع) و g گاز می‌باشد.

تغییراتی را که در یک سیستم چندفازی به وقوع می‌پیوندد، بر حسب شرایط خارجی (درجه حرارت و فشار) و با حفظ تعادل سیستم از طریق قانون فازها مشخص می‌گردد. قانون فازها رابطه‌ای است بین درجه آزادی، تعداد اجزاء، تعداد فازها و فرمول ریاضی. این قانون عبارت است از: $F = C + n - P$ که در آن F عدد درجه آزادی سیستم، C تعداد اجزای سیستم، P تعداد فازهای در حال تعادل و n تعداد عوامل متغیر خارجی و داخلی (درجه حرارت، فشار و غلظت) می‌باشد. عدد درجه آزادی، کمیتی است مستقل از عوامل داخلی و خارجی (درجه حرارت، فشار و غلظت) و به صورت حداکثر تعداد متغیرهای مستقل در سیستم تعریف می‌گردد که تغییر آن‌ها منجر به تشکیل یک فاز و یا شکل گرفتن فاز جدیدی در سیستم می‌شود. در مطالعه تعادل شیمیایی، درجه حرارت و فشار به عنوان عوامل خارجی و تعیین کننده حالت سیستم در نظر گرفته می‌شوند. در قانون فازها هرگاه فقط یک عامل خارجی متغیر، برای مثال درجه حرارت، در نظر گرفته شود و از اثرات فشار صرف‌نظر گردد، فرمول قانون فازها به صورت: $F = C + 1 - P$ خواهد بود. در سیستمی که در حالت تعادل است تمام عوامل متغیر داخلی و خارجی دارای مقادیر معین و ثابتی هستند و چون عدد درجه آزادی نمی‌تواند کمتر از صفر باشد، بنابراین: $P \le C + 1$ یا $C + 1 - P \ge \circ$ یعنی تعداد فازها در یک سیستم نمی‌تواند از تعداد اجزا به علاوه یک بزرگ‌تر باشند. با توجه به این نکته، در یک سیستم دوتایی $(C = ۲)$ در حال تعادل بیش از سه فاز نمی‌تواند وجود داشته باشد. همچنین در یک سیستم سه تایی بیش از چهار فاز نمی‌تواند وجود داشته باشد و الی‌آخر.

در حالتی که ماکزیمم تعداد فازهای ممکن، در حال تعادل باشند، عدد درجه آزادی برابر صفر می‌باشد $(F = \circ)$. این حالت را تعادل نامتغیر یا بدون متغیر می‌نامند. فقط سیستمی که تحت شرایط معین، در یک درجه حرارت ثابت و ترکیب معینی از تمام فازهای موجود باشد، می‌تواند در حالت تعادل نامتغیر باشد. مثلاً یک فلز خالص در درجه حرارت انجماد، یک سیستم تک جزئی است که شامل دو فاز با ترکیب یکسان می‌باشد. بنابراین تعداد درجه آزادی از رابطه زیر به دست می‌آید: $F = ۱ + ۱ - ۲ = \circ$

وقتی $F = \circ$ باشد، معنی آن این است که این سیستم نامتغیر است. نقطه‌ی ذوب یا نقطه‌ی انجماد فلز تنها درجه حرارتی است که در آن دمای، سیستم در حالت تعادل است.هرگاه تعداد فازها یکی کمتر از تعداد ماکزیمم ممکن باشد، عدد درجه آزادی هم یک واحد افزایش خواهد یافت اگر $F = ۱$، این گونه سیستم را تک متغیری می‌نامند. برای مثال آلیاژی از دو فلز در ابتدای انجماد در حالت کلی یک سیستم دو فازی (دوجزیی) است. سیستمی که در آن $F = ۲$ باشد، دومتغیری است. بنابراین سیستم ممکن است در درجه حرارت‌ها و غلظت‌های مختلف در حال تعادل باشد.

مثال۱: سیستمی نامتغیر یا متعادل است که در شرایط مشخص دارای ..... است.

۱) حداقل یکی از فازهای قابل تغییر
۲) تمام فازهای قابل ایجاد
۳) حداقل ۲ فاز قابل تغییر
۴) سه فاز قابل ایجاد

☑ **پاسخ:** «۲» زیرا سیستم کامل یا متعادل باید شامل تمام فازهای قابل ایجاد باشد.

مثال۲: سیستمی که سه جزئی است با ۲ فاز موجود دارای چند درجه آزادی است؟

۱) ۴ ۲) ۳ ۳) ۲ ۴) ۱

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» طبق قانون، هر سیستم n جزئی می‌تواند $n+1$ فاز را شامل شود. به استثنای سیستم تک جزئی که می‌تواند سه فاز داشته باشد. یعنی سیستم سه جزئی می‌تواند حداکثر ۴ فاز به وجود آورد حال که شامل ۲ فاز است بایستی دارای ۲ درجه آزادی باشد.

مثال۳: با توجه به فرمول فازها : $F = C + n - P$ حداکثر تعداد مؤلفه‌های C در آب نمک چندتاست؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» زیرا در آب نمک تعداد اتم‌های مابین مولکول‌های آب ۴ تاست.

محلول‌های جامد

بیشتر فلزات در حالت مذاب با هم تشکیل محلول‌های مذاب همگن می‌دهند. هنگام تبدیل به حالت کریستالی جامد، حالت همگن بودن بسیاری از آلیاژها حفظ می‌گردد، در نتیجه قابلیت انحلال آن‌ها نیز حفظ می‌شود. فازهای جامدی که در آن‌ها نسبت اجزا می‌توانند بدون تخلف از یکنواختی تغییر کنند را محلول جامد می‌نامند. در محلول جامد، انواع مختلف اتم‌های اجزای موجود در آلیاژ، تشکیل یک شبکه کریستالی مشترک می‌دهند. مؤلفه‌ای (عنصری) که شبکه کریستالی‌اش حفظ شود، حلال نامیده می‌شود.

حلالیت محلول‌های جامد به دو صورت کلی اتفاق می‌افتد، حلالیت جانشینی و حلالیت بین‌نشینی.

حلالیت جانشینی

هرگاه اتم‌های محلول جای چند اتم در شبکه کریستالی حلال را بگیرند، این نوع حلالیت را حلالیت جانشینی می‌گویند. در حلالیت جانشینی شبکه کریستالی حلال حفظ می‌شود و شبکه کریستالی حل‌شونده از بین رفته و اتم‌هایش به جای بعضی از اتم‌ها در شبکه حلال جای می‌گیرند.

حلالیت جانشینی از انواع دیگر حلالیت‌ها بیشتر اتفاق می‌افتد. مثلاً حل شدن روغن در نفت که ساختمان نفت حفظ می‌گردد؛ ولی اتم‌های روغن به جای بعضی از اتم‌ها در شبکه پیوندی نفت قرار می‌گیرند.

شرایط تشکیل محلول جامد جانشینی

بهترین نتیجه این جانشینی موقعی به دست می‌آید که:

۱) اندازه شعاع اتمی حلال و حل شونده به هم نزدیک باشد و حداکثر اختلاف شعاع اتمی آن‌ها حدود ۱۵% باشد. هرگاه شعاع اتمی حلال و حل‌شونده خیلی به هم نزدیک باشند، احتمال حلالیت نامحدود بیشتر است چون انرژی را زیاد تغییر نمی‌دهد (به هر نسبتی احتمال حلالیت وجود دارد)

۲) حلال و حل‌شونده نباید از نظر انرژی آزاد، زیاد با هم اختلاف داشته باشند.

۳) اگر ساختمان کریستالی حلال و حل شونده یکی باشد امکان حلالیت نامحدود بیشتر است، زیرا برای تغییر ساختمان احتیاج به صرف انرژی ندارد.

۴) هرچه اتم‌ها در جدول الکتروشیمی به هم نزدیک باشند احتمال حلالیت بیشتر است و هرچه نسبت به هم دورتر باشند، احتمال ترکیب بیشتر است. مثلاً کلریدسدیم یک ترکیب است، در حالی که $Cu-Zn$ محلول است. ضمناً هرچه مقدار اختلاف اندازه ظرفیت دو فلز زیادتر باشد، احتمال انحلال آن‌ها کمتر است.

۵) هرچه ظرفیت یا تعداد الکترون‌های مدار آخر دو عنصر به هم نزدیک‌تر باشد احتمال حلالیت آن‌ها بیشتر است؛ یعنی ظرفیت مساوی حلال و حل‌شونده، حلالیت را زیاد می‌کنند. مثلاً مس (cu) یک ظرفیتی می‌تواند ۳۸/۴ درصد روی (zn) دوظرفیتی را در خود حل کند، در حالی که فقط ۲۰/۳ درصد گالیم (Ga) سه ظرفیتی را در خود حل می‌نماید یا ۱۲ درصد ژرمانیم (Ge) چهار ظرفیتی و ۶۹/۴ درصد آرسنیک (As) پنج ظرفیتی را در خود حل می‌کند. در حالی که Zn، Ge، As، Ga تقریباً دارای قطر اتمی مساوی هستند. با توجه به گفته‌ی بالا هر قدر اختلاف ظرفیت بین فلز اصلی (پایه) و فلز حل شده بیشتر باشد قدرت به وجود آمدن کریستال مخلوط بیشتر است.

گفتیم که هرچه اندازه شعاع اتمی حلال و حل شونده به هم نزدیک‌تر باشد حلالیت بیشتر است و حتی حلالیت نامحدود خواهیم داشت. در اینجا به چند مثال در این مورد اشاره می‌کنیم:

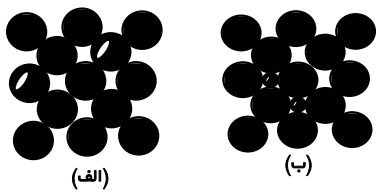
روی (Zn) با قطر اتمی $۲/۷۵A^\circ$ و مس (Cu) با قطر اتمی $۲/۵۵A^\circ$ است و مس حدود ۳۸/۴ درصد روی را در خود حل می‌کند. اختلاف قطر اتمی آن‌ها عبارت است از:

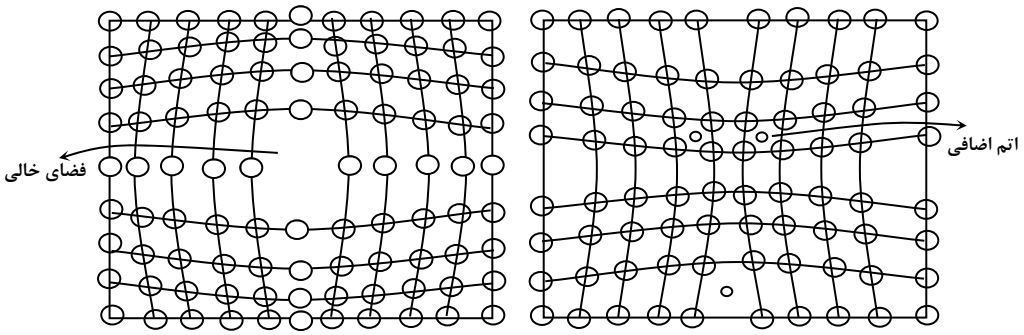
$$(۲/۷۵-۲/۵۵)A^\circ = ۰/۲۰A^\circ$$

منگنز (Mn) با قطر اتمی $۳/۲A^\circ$ و مس (Cu) با قطر اتمی $۲/۵۵A^\circ$ است و مس فقط ۶/۵ درصد منگنز را می‌تواند در خود حل کند. اختلاف شعاع اتمی آن‌ها عبارت است از:

$$(۳/۲۰-۲/۵۵)A^\circ = ۱/۵۵A^\circ$$

شکل مقابل محلول جامد جانشینی را نشان می‌دهد. خللی که در شبکه به وجود می‌آید به علت بزرگی یا کوچکی شعاع اتمی حل شونده می‌باشد. در شکل (الف) قطر اتمی حل شونده تقریباً برابر است با قطر اتمی حلال و در شکل (ب) در حلالیت بین‌نشینی، قطر اتمی حل شونده کوچک‌تر از قطر اتمی حلال است.





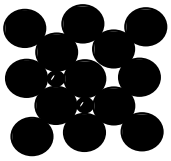
الف ـ نمایش اتم اضافی
ب ـ نمایش خلأ اتمی

حلالیت بین‌نشینی

در حلالیت بین‌نشینی، شبکه کریستالی حل شونده متلاشی شده و اتم‌هایش در جاهای خالی بین اتم‌های حلال جای می‌گیرد. محلول‌های جامد بین‌نشینی موقعی تشکیل می‌شوند که قطر اتم حل‌شونده کوچک بوده و امکان تطبیق با فضاهای خالی شبکه کریستال حلال را داشته باشند.
بنابراین محلول‌های جامد بین‌نشینی موقعی تشکیل می‌شوند که عناصری با شعاع اتمی کوچک‌تر نسبت به اتم حلال، در شبکه کریستال حلال جای گیرند. همانند قرار گرفتن کربن (C)، نیتروژن (N) و هیدروژن (H) در شبکه کریستالی آهن (Fe) و تشکیل محلول جامد از نوع بین‌نشینی.

نکته ۱: یک محلول جامد بین‌نشینی همیشه ثابت کریستالی شبکه حلال را افزایش می‌دهد.

شکل مقابل حلالیت بین‌نشینی را نشان می‌دهد.



مثال۴: با کدام شرایط دو عنصر A و B انحلال بیشتری در یکدیگر دارند؟

۱) اختلاف اندازه، شعاع اتمی کمی داشته باشند.
۲) اختلاف اندازه، شعاع اتمی زیادی داشته باشند.
۳) تعداد الکترون‌های مدار خارجی (پیوندی) حداقل به اندازه ۲ تا اختلاف داشته باشند.
۴) ساختمان کریستالی آن‌ها مختلف باشد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» زیرا یکی از شرایط اصلی انحلال را بیان می‌کند.

مثال۵: در کدام نوع واکنش، عدد همسایگی در شبکه کریستالی افزایش می‌یابد؟

۱) انحلال جانشینی ۲) ترکیبات والانسی ۳) انحلال بین نشینی ۴) ترکیبات بین شبکه‌ای

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» در انحلال بین نشینی سلول واحد عدد همسایگی در شبکه افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه فشردگی و احتمالاً سختی قطعه مربوط را افزایش می‌دهد.

کریستال مخلوط چیست؟

یک شبکه کریستالی وقتی که در شبکه خود اتم‌هایی از فلزات مختلف را به صورت جانشینی یا بین‌نشینی جای می‌دهد، یک شبکه کریستالی با حداقل دو نوع اتم پدید می‌آید که به آن **کریستال مخلوط** می‌گویند که در واقع مخلوط دو نوع اتم در یک شبکه کریستالی می‌باشد، مثل انحلال روی در مس (شبکه کریستالی FCC مس) که آلیاژ برنج را تشکیل می‌دهد یا انحلال کربن در شبکه کریستالی که آهن فولاد را تشکیل می‌دهد.

مثال۶: کدام کریستال مخلوط را تشکیل می‌دهد؟

۱) سیلیسیم در آلومینیوم ۲) انحلال محدود دو عنصر
۳) ترکیب و انحلال دو عنصر ۴) انحلال منیزیم در آلومینیوم

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» انحلال منیزیم در آلومینیوم یک شبکه کریستال مخلوط را به وجود می‌آورد.

حلالیت نفوذی

حلالیت نفوذی بیشتر شبیه حلالیت بین‌نشینی است، با این تفاوت که حلالیت بین‌نشینی عموماً در حالت مذاب انجام می‌شود. در حالی که حلالیت نفوذی بیشتر در حالت جامد انجام می‌شود. شرایط حلالیت بین‌نشینی این است که:

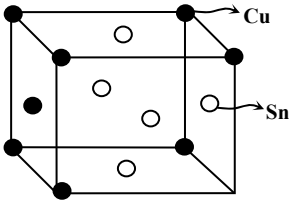
۱) حلال به اندازه کافی فضای خالی در بین شبکه خود داشته باشد.

۲) اندازه اتم‌های عنصر حل شونده کوچک باشند تا بتوانند در فضای خالی شبکه حلال جای بگیرند.

مقدار حلالیت در شبکه FCC به خصوص در عنصر آهن بیشتر از BCC است؛ چون دهانه نفوذ (فضاهای بین‌نشین) شبکه کریستالی FCC بزرگ‌تر است.

حلالیت میانی یا فاز میانی

وقتی در فرآیند حلالیت با تغییر ساختمان کریستالی روبه‌رو شویم یا ساختمان کریستالی جدیدی با ابعاد جدید در مجموعه فرآیند آلیاژسازی به وجود آید، فاز به وجود آمده را فاز میانی یا اتفاقی یا **رندوم** (Random) می‌گویند. در تشکیل فاز میانی، مقدار درصد اتم‌های حل‌شونده **نمی‌تواند** تغییر کند. به همین دلیل به این فاز، **فاز منظم** نیز گفته می‌شود. هرگاه دو عنصر در یکدیگر حل شده و پس از انحلال، محلول‌های جامد یا ترکیبی ایجاد کنند که در ساختمان کریستالی و یا پیوندی آن‌ها هیچ تغییر آلوتروپیک حاصل نشود، محلول را محلول جامد منظم می‌نامند. در ترکیبات شیمیایی نیز به همین نحو عمل می‌شود. مثلاً ترکیبات: Cu_3Sn و Fe_3Al نیز ساختمان جامد منظم شده دارند.



محلول‌های جامد منظم، فاز واسطه‌ای میان محلول‌های جامد و ترکیبات شیمیایی هستند. تفاوت ترکیبات شیمیایی با محلول‌های جامد منظم شده این است که در محلول‌های جامد، شبکه کریستالی حلال باقی می‌ماند، در حالی که در ترکیبات شیمیایی بین دو و چند عنصر، هر دو ساختمان عنصر پایه و آلیاژی از بین‌رفته و ساختمان کریستالی جدیدی پدید می‌آید.

ساختمان کریستالی محلول جامد منظم

محلول جامد منظم شده نسبت به محلول جامد جانشینی و بین‌نشینی سخت و شکننده است.

ترکیبات شیمیایی

در موقع تشکیل آلیاژ، دو فلز یا یک فلز و شبه فلز به طور شیمیایی با هم ترکیب شده و تشکیل ترکیبی می‌دهند که به آن ترکیب شیمیایی می‌گویند. ترکیبات شیمیایی به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

۱ـ ترکیبات والانسی یا ظرفیتی (Valency) ۲ـ ترکیبات الکترونی (Electrons) ۳ـ ترکیبات بین شبکه‌ای

ترکیبات والانسی یا ظرفیتی

این ترکیبات از قوانین شیمیایی پیروی می‌کنند. این ترکیبات شامل Mg_3Bi_2 و Mg_2Si، Mg_2Sn و Mg_2Pb و دیگر ترکیبات با عناصر گروه‌های چهارم و پنجم جدول تناوبی هستند. این ترکیبات به طور معمول انعطاف‌پذیری پایین، هدایت الکتریکی نسبتاً ضعیف و ساختار کریستالی پیچیده‌ای دارند. علامت مشخصه این ترکیبات، محلول بودن کامل مؤلفه‌های آن‌ها به طور عملی می‌باشد.

نکته ۲: ترکیبات والانسی به ندرت در آلیاژهای فلزات شکل می‌گیرند و شاید مانع فرم‌پذیری آلیاژ یا قطعات شوند.

ترکیبات الکترونی

این ترکیبات که به ترکیبات هوم روتاری معروف‌اند، از مهم‌ترین سیستم‌های فلزی هستند. در ترکیبات الکترونی نسبت تعداد الکترون‌های ظرفیت به تعداد اتم‌های تشکیل دهنده ترکیب، مقداری معین است، یعنی یک نسبت الکترونی معین دارد. یک سری کلی از این ترکیبات هستند که نسبت تعداد الکترون‌های ظرفیت به تعداد اتم‌های آن‌ها در ترکیب، $\frac{3}{2}$ است. کلیه ترکیباتی که دارای نسبت الکترونی $\frac{3}{2}$ هستند، دارای شبکه کریستالی مرکزدار هستند. این ترکیبات شامل $CuZn$، Cu_3Al، Cu_5Sn، $NiAl$ و $FeAl$ و غیره می‌باشند، که به عنوان فاز β شناخته می‌شوند. در اینجا آهن و نیکل الکترون ظرفیت پیدا نمی‌کنند. ظرفیت آلومینیوم ۳، قلع ۴، مس ۱ و روی ۲ می‌باشد.

سری دوم این ترکیبات، ترکیباتی هستند که دارای نسبت الکترونی $\frac{21}{13}$ هستند که دارای شبکه مکعبی پیچیده (Complex) می‌باشند. این ترکیبات شامل $Cu_{31}Sn_8$، Cu_5Zn_8 و غیره می‌باشند که به عنوان فاز γ شناخته می‌شوند.

سری سوم این ترکیبات با نسبت الکترونی $\frac{7}{4}$ هستند که دارای شبکه کریستالی هگزا گونال متراکم می‌باشند. این ترکیبات عبارتند از Cu_3Si، Cu_3Sn، Ag_5Al_3 و غیره.

ترکیبات بین‌شبکه‌ای (بین‌نشینی)

عده زیادی از فلزات انتقالی مثل Fe، Cr، Mo، W، Ti و V و غیره، با کربن، نیتروژن، هیدروژن و بور، که همگی دارای شعاع اتمی کوچکی هستند، تشکیل ترکیب شیمیایی (کاربید، نیترید و غیره) می‌دهند. این ترکیبات را ترکیبات بین شبکه‌ای (بین‌نشینی) می‌نامند. در صورتی که شعاع اتمی غیر فلز (مانند N، H و B) از شعاع اتمی فلز کوچک‌تر یا مساوی ۵۹ درصد عنصر پایه یا فلز اصلی باشد، ترکیبات بین شبکه‌ای تشکیل می‌شود. ترکیبات شیمیایی بین‌شبکه‌ای (بین‌نشین) دارای فرمول شیمیایی زیر هستند:

$MeX \Rightarrow (TiN\ ,\ WC\ ,\ TIC\ ,\ VC)$ $\qquad$ $Me_3X \Rightarrow (Fe_3C\ ,\ Cr_3C, Fe)$

$Me_2X \Rightarrow (W_2N\ ,\ Fe_2N\ ,\ W_2C)$ $\qquad$ $Me_4X \Rightarrow (Mn_4N\ ,\ Fe_4N)$

اتم‌های ترکیب بین‌شبکه‌ای تشکیل یکی از واقعی‌ترین شبکه‌های کریستالی هگزاگونال یا مکعبی را می‌دهند که در آن، اتم‌های شبه فلز، موقعیت‌های خالی را در شبکه کریستالی اشغال می‌کنند. فرق ترکیبات یا فازهای بین‌شبکه‌ای با محلول جامد بین شبکه‌ای (بین‌نشینی) در این است که شبکه‌های کریستالی ترکیبات بین‌شبکه‌ای با شبکه‌های کریستالی فلزاتی که آن‌ها را تشکیل می‌دهند، متفاوت است در حالی که در محلول جامد بین‌شبکه‌ای، شبکه کریستالی محلول جامد، شبکه کریستالی حلال می‌باشد. ترکیبات بین شبکه‌ای دارای برخی خواص فلزی مانند هدایت الکتریکی هستند که با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابند، همچنین دارای سختی و نقطه ذوب استثنایی نیز می‌باشند. از این ترکیبات در سخت کردن فولادها یا ابزارهای برش استفاده می‌شود.

مثال۷: ترکیبات بین‌شبکه‌ای (بین نشینی) بین ..... و ..... انجام می‌شود.

۱) غیر فلز ـ غیر فلز ۲) فلز ـ غیر فلز ۳) فلز ـ فلز ۴) شبه فلز ـ فلز

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» ترکیب‌های بین نشینی (بین شبکه‌ای) بین فلز و غیر فلز به وجود می‌آیند.

مثال۸: اگر تعداد الکترون‌های مدار خارجی مس و آلومینیوم به ترتیب ۱ و ۳ باشد، نسبت الکترونی ترکیب Cu_3Al کدام است؟

۱) $\frac{7}{4}$ ۲) $\frac{21}{13}$ ۳) $\frac{3}{2}$ ۴) $\frac{5}{4}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» زیرا:

تعداد الکترون های شرکت کننده در ترکیب $\frac{6}{4} = \frac{3}{2}$ $\begin{cases} = 3\times1+3=6 \\ = 3+1=4 \end{cases}$ تعداد اتم های شرکت کننده در ترکیب

مثال۹: فرق ترکیبات بین‌شبکه‌ای (بین نشینی) و ترکیبات الکترونی کدام است؟

۱) اولی ترکیب بین دو غیر فلز است. ۲) اولی ترکیب بین دو فلز است.

۳) دومی ترکیب بین دو غیر فلز است. ۴) دومی ترکیب بین دو فلز است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» ترکیب‌های بین شبکه‌ای (بین‌نشینی) بین فلز و غیر فلز به وجود می‌آیند. اما ترکیب‌های الکترونی بین دو عنصر فلزی به وجود می‌آیند.

نمودارهای تعادلی آلیاژهای دوتایی

در حالت مذاب اغلب مواد و عناصر فلزی دارای قابلیت انحلال متقابل در حالت مذاب می‌باشند. برخی فلزات مانند آهن و سرب تقریباً در یکدیگر نامحلول‌اند و بر حسب چگالی خود در حالت مذاب از یکدیگر جدا می‌شوند. البته نامحدود بودن محض به ندرت دیده می‌شود و قابلیت انحلال محدود در حالت مذاب متداول‌تر است. در حالت انحلال محدود، اگر مقدار فلز B که به فلز A اضافه شده است از قابلیت انحلال ماکزیمم آن در فلز A در درجه حرارت معینی تجاوز نکند، یک محلول مایع یا مذاب همگن خواهیم داشت و اگر مقدار فلز اضافه شده B به فلز A از قابلیت انحلال ماکزیمم خود در فلز A تجاوز کند، مذاب به دو لایه تفکیک خواهد شد. این لایه شامل محلول‌های اشباع شده‌ای از B در A و از A در B می‌باشند. به جز چند مورد استثنایی که عبارتند از: (Fe-Cu) و (Ni-Ag) و (Cu-Cr).

مدرسان شریف

فصل چهارم

« فلزات و آلیاژهای آهنی »

فلزات و آلیاژهای آهنی

آلیاژهای آهنی به دلیل تعدد و کاربردشان از مهم‌ترین آلیاژهای صنعتی محسوب می‌گردند. در آلیاژهای آهنی، فلز آهن به عنوان فلز یا عنصر پایه از طریق انحلال یا ترکیبات شیمیایی و حتی مخلوط مکانیکی با بقیه فلزات یا غیر فلزات، آلیاژهای آهنی را می‌سازد که البته بر حسب خواص مکانیکی خواسته شده، این فلزات یا غیر فلزات به عنوان عنصر آلیاژی انتخاب می‌شوند. فلزات یا غیر فلزاتی که به عنوان فلز آلیاژی انتخاب می‌گردند، بایستی دارای شرایطی باشند. از جمله اینکه درون آلیاژ تغییر فاز بوجود آورده و خواص مکانیکی را تغییر دهند. «آلیاژ عبارت است از انحلال یا ترکیب یا مخلوط مکانیکی دو یا چند عنصر که حداقل عنصر پایه آن فلز بوده و دارای خواص مکانیکی مورد نظر باشد.» آهن (Fe) مهم‌ترین فلز صنعتی است که دارای این ویژگی‌های است. وزن اتمی آهن ۵۶، تعداد الکترون مدار خارجی ۲ و ثابت شبکه کریستالی آن $\alpha = ۲/۸۶A^{\circ}$ می‌باشد و در جدول مندلیف در گروه ۴ و ستون ۸ قرار داشته و ساختمان کریستالی آن BCC یا در شرایطی FCC است، بنابراین با فلزات اطراف خود در جدول مندلیف به صورت محلول یا پیوند فلزی با فلزات و غیر فلزات غیر همسایه خود، بیشتر به صورت ترکیب شیمیایی و محلول بین نشینی آلیاژ می‌شود.

نوع انحلال و ترکیب شیمیایی با تغییر درجه حرارت و نحوه سرد نمودن می‌تواند تغییر کند که در نتیجه خواص مکانیکی نیز در پیروی از آن می‌تواند تغییر نماید. کربن مهمترین عنصر سازنده آلیاژهای آهنی است. ساختمان کریستالی آن منشور و ساده است. کربن در آهن می‌تواند به صورت محلول جامد یا بصورت ترکیب شیمیایی وجود داشته باشد که نوع آن با تغییر درصد کربن، درجه حرارت و نحوه سرد کردن تغییر می‌کند. در درجه حرارت محیط، آهن دارای ساختمان کریستالی BCC می‌باشد. این ساختمان تا درجه حرارت حدود $۹۱۰^{\circ}C$ ثابت می‌ماند، اما در درجه حرارت بالای $۹۱۰^{\circ}C$، ساختمان BCC به ساختمان FCC تبدیل می‌گردد. ساختمان FCC تا حدود $۱۴۰۰^{\circ}C$ حفظ می‌گردد. ولی در دماهای بالاتر، مجدداً به ساختمان BCC تبدیل می‌گردد. ساختمان BCC که در بالای $۱۴۰۰^{\circ}C$بوجود می‌آید با ساختمان BCC در درجه حرارت محیط متفاوت است. از جمله‌ی این تفاوت‌ها، ثابت شبکه کریستالی می‌باشد که تا $\alpha = ۲/۹۳A^{\circ}$ افزایش می‌یابد. غیر از تغییر ساختمان کریستالی، در درجه حرارت‌های مختلف یک تغییر خاصیت در آهن به وجود می‌آید. آهن از درجه حرارت محیط تا درجه حرارت $۷۶۸^{\circ}C$ دارای خاصیت مغناطیسی می‌گردد اما اندکی در دمای بالای $۷۶۸^{\circ}C$ این خاصیت را از دست داده و غیر مغناطیس می‌شود. تمام درجه حرارت‌هایی که در آن تغییر شبکه کریستالی یا تغییر خاصیت رخ می‌دهد، **درجه حرارت‌های بحرانی** نام دارد. تغییرات شبکه کریستالی در اثر تغییرات درجه حرارت را تغییرات **آلوتروپی** می‌نامند و تعداد تغییرات آلوتروپی را مدیفیکاسیون (Modification) می‌گویند. ضمناً درجه حرارت $۷۶۸C^{\circ}$ را درجه حرارت یا نقطه کوری (Curie) می‌نامند.

مثال ۱: تغییر خواص مغناطیسی به غیر مغناطیسی در کدام درجه حرارت بحرانی صورت می‌گیرد و مدیفیکاسیون آن کدام ساختمان کریستالی است؟

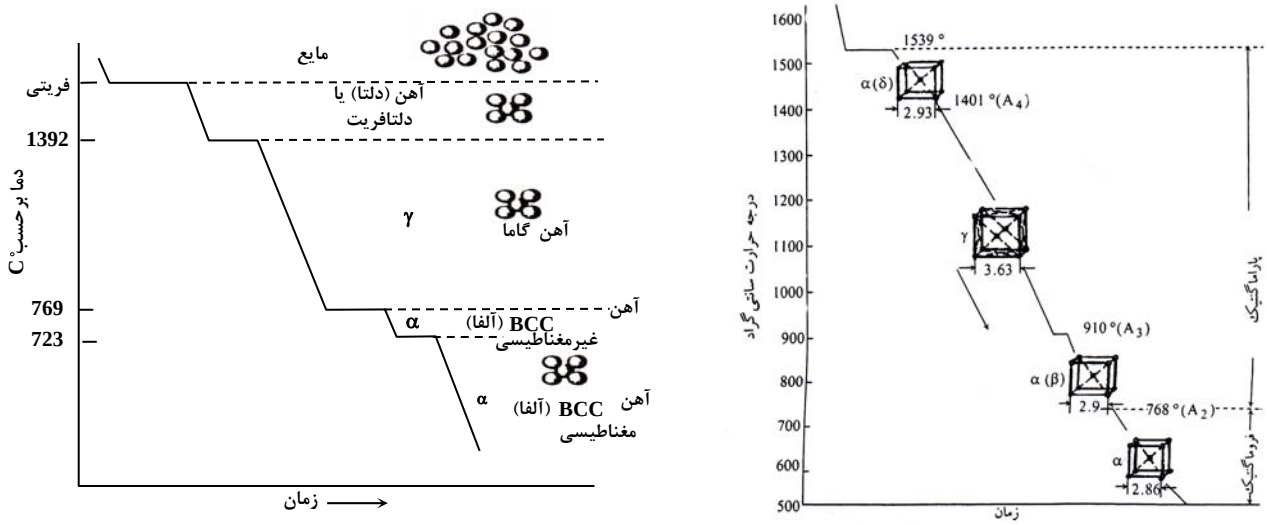
۱) $\alpha, ۷۲۳^{\circ}C$ ۲) $\beta, ۵۷۰^{\circ}C$ ۳) $\beta, ۷۶۸^{\circ}C$ ۴) $\gamma, ۷۶۹^{\circ}C$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» درجه حرارت بحرانی مربوط به دمای $۷۶۸C^{\circ}$ است و ساختار آن β می‌باشد که شکل BCC دارد.

مختصری درباره کربن

همان‌طور که گفته شد، آلیاژ آهن ـ کربن (Fe-C) مهم‌ترین آلیاژ آهن می‌باشد. آهن بسته به درجه حرارت‌های مختلف و درصدهای معین کربن می‌تواند مقدار معینی از کربن را در خود حل نماید؛ ولی هرگاه درجه حرارت از حد معینی پائین‌تر بیاید، کربن به صورت ترکیب ظاهر می‌شود. کربن خالص در آلیاژهای آهن ـ کربن به نام **گرافیت** شناخته می‌شود. نقطه ذوب آن $3540^{\circ}C$ است. گرمای ویژه کربن $0/16\frac{cal}{g.C^{\circ}}$، نقطه جوش آن $4000^{\circ}C$ و ضریب مقاومت الکتریکی آن $2000\times10^{-6}\ \Omega cm$ و وزن مخصوص آن $2/2\frac{gf}{cm^3}$ است و از دسته شبه فلزات می‌باشد. کربن قابلیت کشش ندارد و ساختمان کریستالی آن شش گوش با ثوابت شبکه $a=2/4564A^{\circ}$ و $C=6/6906A^{\circ}$ است.

پس از شناخت مشخصات فیزیکی آهن و کربن، اینک به شرح دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی آهن و کربن و تغییراتی که در اثر ورود عناصر مختلف در دیاگرام پدید می‌آید، می‌پردازیم. قبل از شرح و ترسیم دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی آهن ـ کربن در شماتیک زیر به تغییرات شبکه کریستالی در اثر درجه حرارت (**آلوتروپی‌های آهن**) می‌پردازیم:



منحنی سرد کردن آلیاژ آهن ـ کربن فرومگنتیک

آلیاژهای آهن ــ کربن

با توجه به مشخصات فوق و با در نظر گرفتن مشخصات آهن نتیجه گرفته می‌شود که مقدار کمی کربن در شرایط طبیعی می‌تواند در آهن حل شود (حدود ۰/۰۲۵ درصد) ولی اگر درجه حرارت بالا رود، آهن می‌تواند تا ۲/۰۶ کربن را در شرایط طبیعی بصورت عادی و اشباع در خود حل کند (حداکثر انحلال کربن در آهن در ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد).

انحلال کربن در آهن در شرایط طبیعی و در درجه حرارت پائین در آهن آلفا یا فریت (Ferrite) انجام می‌گیرد. ساختمان این‌گونه آهن‌ها به صورت BCC می‌باشد.

هرگاه مقدار کربن در درجه حرارت پائین، از حدود ۰/۰۲۵ درصد بیشتر باشد، بقیه کربن به صورت ترکیب شیمیایی با آهن در آلیاژ خودنمایی می‌کند.

مثال ۲: انحلال کربن در آهن در حرارت $500^{\circ}C$ در حالت تعادل دارای ساختار ..... است و ..... نام دارد.

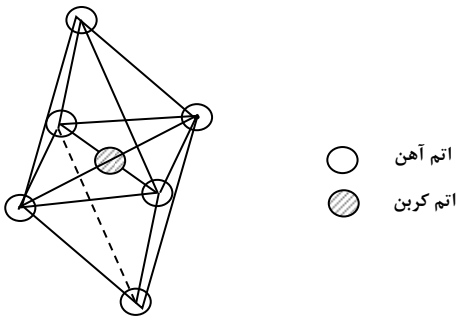
۱) BCC ـ آوستینیت ۲) FCC ـ فریت ۳) BCC ـ غیر مغناطیس ۴) BCC ـ فریت

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» طبق دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی آهن ـ کربن ساختار آن پس از انحلال کربن در $500^{\circ}C$، BCC بوده و فریت نام دارد.

این ترکیب به نام سمنتیت (Cementite) یا کاربید آهن با فرمول شیمیایی Fe_3C معروف است. ساختمان کریستالی سمنتیت، اورتورومبیک (orthorhombic) فشرده است و ثابت شبکه آن $a = ۴/۵۱۸A^\circ$ و $c = ۵/۰۶۹A^\circ$ می‌باشد.

در این ترکیب شش اتم آهن تشکیل یک هشت وجهی می‌دهند و کربن در مرکز این هشت وجهی قرار گرفته است. در شکل مقابل شبکه کریستالی سمنتیت را مشاهده می‌نمایید.

درصد کربن سمنتیت (Fe_3C) حدود ۶/۶۷ درصد می‌باشد، نقطه ذوب آن در حدود $۱۳۵۰^\circ C$ (بعضی منابع $۱۵۵۰^\circ C$) است و سختی آن بیش از ۸۰۰ برینل است. شکل‌پذیری سمنتیت بسیار کم است، بنابراین هر گاه سمنتیت در آلیاژهای آهنی وجود داشته باشد، آن را سخت کرده و شکننده می‌کند.



شبکه کریستالی سمنتیت یا Fe_3C

مثال ۳: مقدار کربن موجود در کاربید آهن (سمنتیت) ..... درصد است و سختی آن حدود ..... برینل می‌باشد.

۱) (۲۷۰ – ۶/۶۷) ۲) (۸۰۰ – ۶/۶۷) ۳) (۸۰۰ – ۴/۳) ۴) (۴۵۰ – ۴/۳)

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» طبق محاسبه داریم:

Fe_2O_3	C
$۳\times۵۶+۱۲$	۱۲
۱۰۰	$x = \frac{۱۰۰\times۱۲}{۳\times۵۶+۱۲} = ۶/۶۶ \simeq ۶/۶۷$

همچنین سختی آن حدود ۸۰۰ برینل است.

در درجه حرارت‌های بالاتر از $۷۲۳^\circ C$ مجدداً شاهد تغییر ساختمان کریستالی آهن هستیم. فاز جدید را آهن γ یا آستنیت می‌نامند که دارای ساختمان FCC است.

مثال ۴: درجه حرارت بحرانی که در آن حداکثر انحلال کربن در آهن در شرایط تعادلی صورت می‌گیرد، چند درجه سانتی‌گراد است؟

۱) ۱۱۵۰ ۲) ۱۲۰۰ ۳) ۱۵۳۹ ۴) ۱۵۵۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» طبق دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی آهن ـ کربن در حرارت $۱۱۵۰^\circ C$ حداکثر مقدار انحلال کربن در آهن به اندازه ۲/۰۶ درصد صورت می‌گیرد.

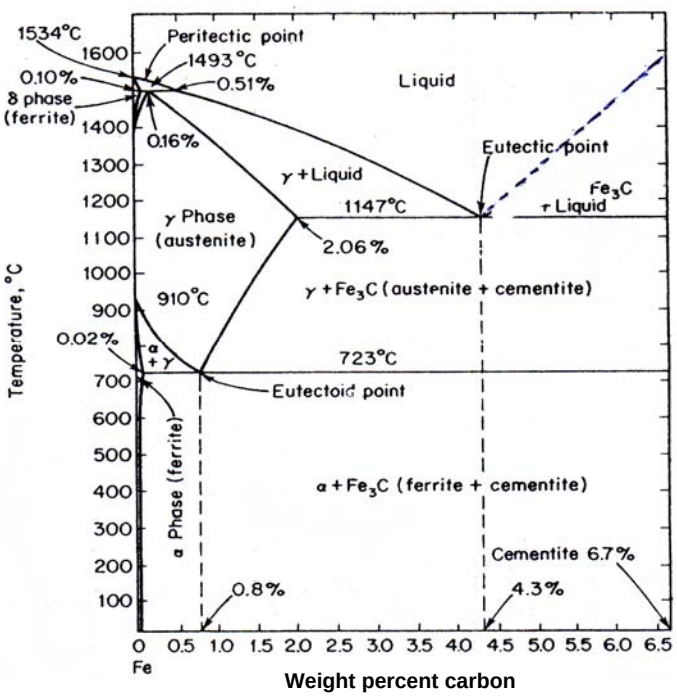
در دمای بالاتر از ۱۴۰۱ درجه سانتی‌گراد، کمتر از ۰/۱ درصد کربن در آهن حل شده و شبکه از γ (FCC) به شبکه δ (دلتا) یا دلتافریت با ساختار BCC تبدیل می‌گردد. همان طور که اشاره شد در اثر تغییرات درجه حرارت، ساختمان کریستالی آلیاژ آهن تغییر می‌کند که به این تغییرات، تغییرات **آلوتروپیک** می‌گویند و به تعداد این تغییرات مدیفیکاسیون می‌گویند. درجه حرارت‌هایی را که در آن این تغییرات انجام می‌گیرد، درجه **حرارت بحرانی** می‌نامند و ضمناً به درصد کربن و درجه حرارت‌هایی که این تغییرات در آن انجام می‌شود، نقاط بحرانی می‌گویند.

دیاگرام‌های تعادلی آلیاژهای آهن ـ کربن

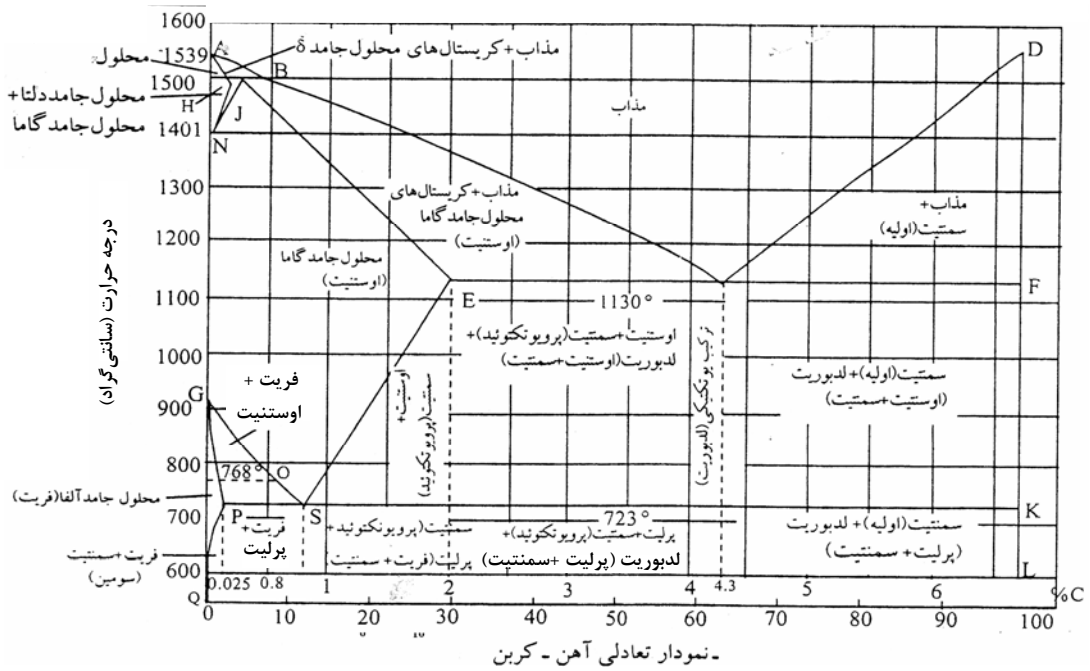
قبل از بحث روی دیاگرام‌های تعادلی آلیاژهای دوتایی آهن ـ کربن به شناسایی مشخصات آلیاژهای دوتایی آهن ـ کربن می‌پردازیم. این شناخت شامل نوع آلیاژ، تغییرات آلوتروپیک و مدیفیکاسیون، قابلیت عملیات حرارتی، ترکیبات و محلول‌های دو یا چند عنصر در آلیاژ می‌باشد. همان‌طور که در دیاگرام مشخص است، از دمای ۷۲۳ درجه سانتیگراد تا درجه حرارت محیط، این آلیاژ دارای ساختمان کریستالی BCC می‌باشد. البته این ساختمان در صورتی کامل است که مقدار کربن در آهن کمتر از ۰/۰۲۵ درصد باشد. ناگفته نماند که حداکثر کربنی که در آهن حل شده و ساختمان BCC را به وجود می‌آورد، در دمای ۷۲۳ درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد که در این دما کربن حل شده در آهن (کاملاً محلول) ۰/۰۲۵ درصد می‌باشد. هر چه درجه حرارت بالاتر از $۷۲۳^\circ C$ یا پائین‌تر از آن باشد، مقدار کربن کمتری در آهن حل می‌گردد و هر گاه بیشتر از حد حلالیت کربن وارد سیستم گردد، بقیه کربن یا به صورت ترکیب شیمیایی با آهن پدیدار می‌شود یا در آهن حل شده، ولی با ساختمان کریستالی متفاوتی ظاهر می‌گردد. همان‌طور که مشخص است، در دمای ۲۵ درجه، حدود ۰/۰۰۸ درصد کربن در آهن حل می‌گردد. به تدریج که درجه حرارت زیاد می‌گردد، مقدار کربن قابل حل در آهن نیز افزایش می‌یابد به طوری که در دمای ۷۲۳ درجه سانتیگراد مقدار انحلال کربن در آهن که دارای ساختمان کریستالی BCC است، به حداکثر

رسیده و به ۰/۰۲۵ درصد کربن در آهن می‌رسد. از این نقطه به بعد حتی اگر درجه حرارت بالاتر نیز برود، مقدار کربن حل شده در آهن که دارای ساختمان کریستالی BCC است، کمتر می‌شود. بنابراین با افزایش درجه حرارت تا حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد، انحلال کربن در آهن BCC کم می‌شود. انحلال کربن در آهن BCC محدود شده ولی با این حال کربن در آهن FCC به طور وسیع‌تر حل می‌گردد. فولاد ساده کربنی که دارای ساختمان کریستالی BCC می‌باشد به آهن α یا فریت معروف است.

به محلول جامد کربن در آهن α در درجه حرارت محیط فریت می‌گویند. همچنین به محلول جامد اشباع کربن در آهن در درجه حرارت حداقل ۷۲۳ $^{\circ}C$ آهن γ با ساختمان FCC می‌گویند. ضمناً به دلیل اینکه دانشمندی انگلیسی به نام آوستن روی این آلیاژ تلاش زیادی انجام داده است به این آلیاژ، آستنیت **(Austenite)** نیز می‌گویند. بدین ترتیب در زیر درجه حرارت ۷۲۳ $^{\circ}C$ روی دیاگرام تعادلی آلیاژهای آهن ـ کربن، ساختمان کریستالی FCC یا آستنیت وجود نخواهد داشت.



روی دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی آهن ـ کربن زیر، مقدار ۷% درصد کربن را عدد ۱۰۰ فرض کرده‌ایم.



مدرسان شریف

فصل ششم

« آشنایی با نحوه استاندارد کردن آلیاژهای آهنی »

مختصری درباره استاندارد کردن (نرم‌بندی) فولادها و کاربردهای آن‌ها

با استاندارد کردن (نرم‌بندی) فلزات آهنی می‌توان این آلیاژها را بهتر شناسایی و انتخاب کرد. علائمی که برای فلزات آهنی به کار می‌روند، شامل سه بخش عمده می‌باشند که عبارتند از:

۱ـ روش تولید، ۲ـ عناصر تشکیل دهنده ۳ـ عملیاتی که قبل از عرضه به بازار روی آن‌ها انجام گرفته است.

برای اطلاع از استانداردهای فولادهای مختلف که در کشورهای مختلف تهیه می‌شوند، بهتر است از کلید فولادها استفاده شود، که به طور وسیع استانداردها را مشخص کرده‌اند. در این بخش، به معرفی چند استاندارد از فولادهای خاص و طرز شناسایی آن‌ها می‌پردازیم.

استاندارد (DIN) آلمان برای آلیاژهای آهنی دارای مشخصات زیر است:

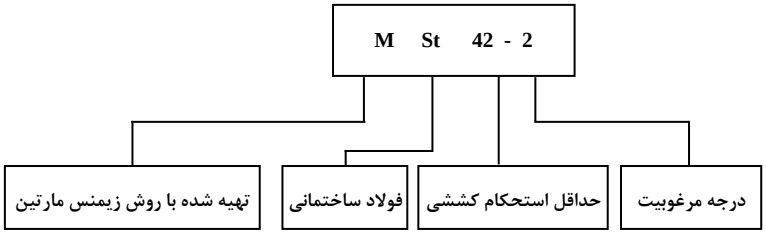
۱ـ علائمی که در بخش روش تولید به کار می‌روند: حروفی که در این بخش به کار می‌روند، مخفف نحوه ذوب، خصوصیات برجسته و علامت ریخته گری محصول عرضه شده می‌باشند. در جدول زیر مفهوم حروفی که در این بخش به کار می‌روند، برای انواع چدن‌ها نشان داده شده‌اند.

GS –	فولاد ریخته
GG -	چدن خاکستری با گرافیت مطبق
GGG -	چدن خاکستری با گرافیت کروی
GH -	چدن سفید
GTW -	چدن مالیبل یا چکش‌خوار (مغز سفید)
GTS -	چدن مالیبل یا چکش‌خوار (مغز سیاه)

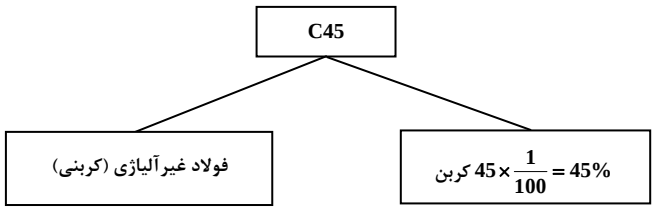
۲ـ علائمی که در بخش عناصر تشکیل‌دهنده استفاده می‌شوند: در این بخش عناصر تشکیل‌دهنده، استحکام و همچنین درجه مرغوبیت محصول را به کمک حروف و اعداد مشخص می‌نمایند.

علامت اختصاری که برای فولادهای ساختمانی به کار می‌رود، با حروف St شروع شده و پس از آن عددی وجود دارد که معرف حداقل استحکام کششی فولاد مربوطه بر حسب واحد قدیمی $\frac{kg}{mm^2}$ می‌باشد که با ضرب آن در عدد ۹/۸۱ می‌توان استحکام را بر حسب واحد جدید $\frac{N}{mm^2}$ به دست آورد. پس از اعداد مربوط به استحکام، یک خط تیره وجود داشته سپس عددی از ۱ تا ۳ که معرف درجه مرغوبیت (قابلیت تغییر فرم) می‌باشد، قرار دارد. عدد ۱ معرف درجه مرغوبیت کم، عدد ۲ معرف درجه مرغوبیت متوسط و عدد ۳ معرف درجه مرغوبیت زیاد می‌باشد.

به عنوان مثال مشخصات فولاد با استاندارد زیر نشان داده شده است:



در علائم اختصاری ورق‌های ظریف، به جای عدد مربوط به استحکام، عددی قرار دارد که معرف درجه خوبی (قابلیت تغییر فرم) آن بوده و از ۱۰ تا ۱۴ طبقه‌بندی شده‌اند. مانند St۱۳ که در آن St نشان دهنده فولاد و عدد ۱۳ معرف ورقی است که قابلیت کششی خوبی را دارد؛ در حالی که St۴۲ استحکام کششی بالایی داشته و قابلیت فرم‌پذیری و کششی خوبی ندارند. فولادهای غیر آلیاژی (کربنی) که برای عملیات حرارتی مناسب هستند، با حرف C و فولادهای نجیبی که درجه خلوص زیادی دارند (گوگرد و فسفر کم)، با حروف Ck و فولادهایی با بافت گوگردی کم (۰/۰۲ تا ۰/۰۳۵) را با علامت Cm مشخص می‌کنند. عددی که پس از حروف C و Ck و Cm قرار می‌گیرد، معرف مقدار کربن موجود در آن‌ها (با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$) بر حسب درصد می‌باشد. مثلاً $C_{۴۵}$ فولاد ساده بوده و دارای $۴۵ \times \frac{۱}{۱۰۰} = ۰/۴۵$ درصد کربن می‌باشد.



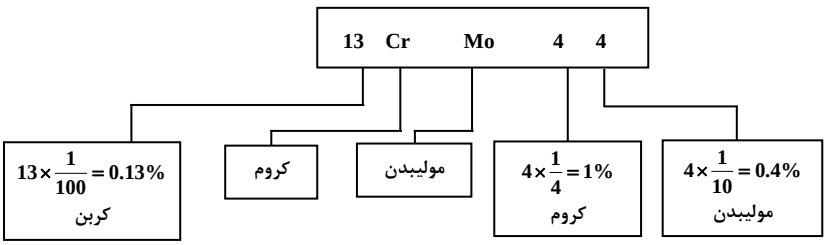
برای فولادهای نورد از علامت D استفاده می‌شود که با عددی در جلوی آن مشخص می‌شود که با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$، درصد کربن فولاد را نشان می‌دهد. مثلاً D۹ که $۹ \times \frac{۱}{۱۰۰} = ۰/۰۹$ درصد کربن دارد. فولادهای کم‌آلیاژ را بدون استفاده از علامت شیمیایی کربن (C) با عددی شروع می‌کنند که معرف ضریب مقدار درصد کربن در آن‌ها بوده و سپس از علائم اختصاری شیمیایی سایر عناصر با توجه به مطالب فوق استفاده می‌کنند، مثلاً فولادهای کم‌آلیاژ به طور کلی به صورت چند رقم در سمت چپ و سپس عناصر آلیاژی موجود در فولاد نمایش داده می‌شود که به ترتیب اعدادی نیز در سمت راست آن‌ها نوشته می‌شود که هر یک اگر در ضریبی ضرب شود، درصد عنصر مورد نظر را مشخص می‌کنند. این ضرایب در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

ضریب	نام فلز					
$\frac{۱}{۴}$	کبالت Co	کرم Cr	منگنز Mn	نیکل Ni	سیلیسیم Si	ولفرام W
$\frac{۱}{۱۰}$	آلومینیوم Al	مس Cu	مولیبدن Mo	تانتال Ta	تیتان Ti	وانادیم V
$\frac{۱}{۱۰۰}$	کربن C	فسفر P	گوگرد S	ازت N		

مثال ۱: فولاد با کدام استاندارد، سختی بیشتری دارد؟

۱) St۲۵ ۲) St۳۲ ۳) C۶۰ ۴) Ck۲۵

☑ **پاسخ :** گزینه «۳» زیرا فولادهای گزینه (۱) و (۲)و (۴) کم‌کربن ولی فولاد گزینه (۳) پرکربن است.



مثال ۲: فولاد با کدام استاندارد در دین (Din) نجیب محسوب می‌شود؟

۱) C_m ۲) C ۳) Ck ۴) st

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» فولاد با علامت Ck، فولاد نجیب محسوب می‌شود.

مثال ۳: در فولاد St۴۲ مقدار عدد ۴۲ ..... است.

۱) ضریب درصد کربن فولاد
۲) درصد فولاد در ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$
۳) استحکام کششی بر حسب $\frac{N}{mm^۲}$
۴) استحکام کششی بر حسب $\frac{kg}{mm^۲}$

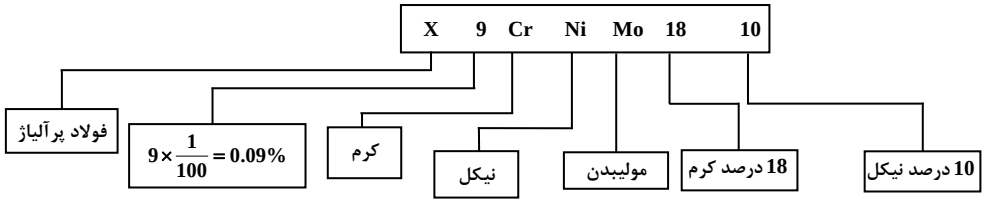
☑ **پاسخ:** گزینه «۴» عدد جلوی St عیناً مقدار استحکام کششی فولاد بر حسب $\frac{kg}{mm^۲}$ است.

مثال ۴: فولاد ساده کربنی معمولی غیر ساختمانی با کدام استاندارد (Din) مشخص می‌شود؟

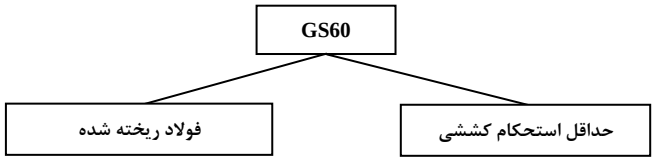
۱) Ck۴۰
۲) St۲۵
۳) C۲۵
۴) C۱۰۰W

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» فولاد غیر ساختمانی کربنی در استاندارد DIN به صورت C و عددی که با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بیانگر درصد کربن فولاد است یعنی کربن این فولاد ساده ۰/۲۵ درصد است.

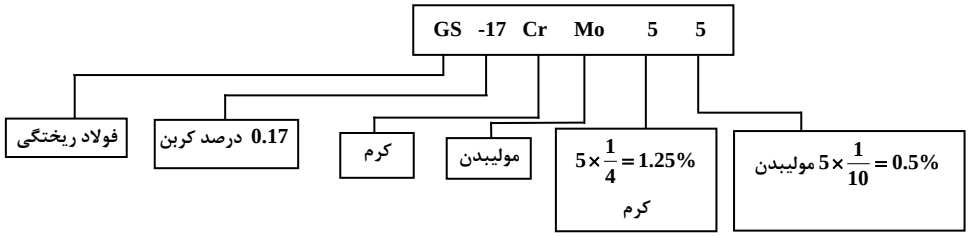
فولادهایی که با بیش از ۸ درصد از فلزات مختلف آلیاژ شده باشند، فولادهای پرآلیاژ نام دارند و در نرم‌بندی آن‌ها، حروف x آغازکننده‌ی علائم می‌باشند. عددی که پس از حرف x قرار می‌گیرد، معرف مقدار درصد کربن موجود در آن با توجه به ضرایب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بوده و پس از آن علائم شیمیایی سایر عناصر با ترتیبی که در قبل ذکر شد، قرار می‌گیرند. مهم‌ترین فرق نرم‌بندی این فولادها با فولادهای کم‌آلیاژ، در ضرایب فلزات آلیاژی آن‌ها می‌باشد که در این جا با ضرایب ۱ به کار می‌روند.



در استاندارد چدن‌ها و فولادهای ریخته، پس از حروف مشخصه، عددی وجود دارد که مشابه فولادها معرف استحکام کششی آن‌ها می‌باشد.

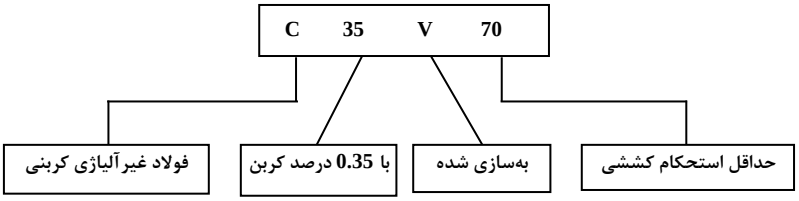


در فولادهای ریخته آلیاژی پس از حروف مشخصه (GS)، عددی وجود دارد که معرف درصد کربن با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بوده و پس از آن علائم شیمیایی سایر فلزات موجود در آن‌ها ذکر می‌گردد. اعدادی که بعد از علائم عناصر شیمیایی آلیاژی نوشته می‌شوند، معرف درصد عناصر موجود در فولاد ریختگی بوده که مقدار حقیقی آن‌ها را می‌توان با کمک ضرایب داده شده در جدول مشابه فولادهای کم‌آلیاژ تعیین نمود.

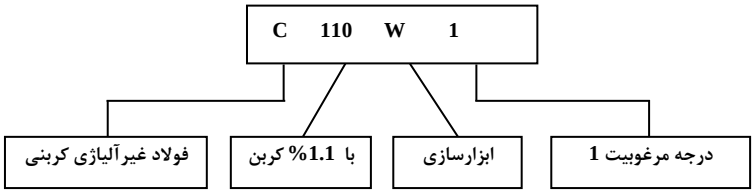


۳ـ علائمی که در بخش عملیات انجام گرفته در روی فولادها به کار می‌روند: در این بخش برای مشخص کردن نحوه‌ی عملیات حرارتی و نحوه تغییر فرم دادن و همچنین کیفیت سطح در ورق‌های ظریف، از حروف استفاده می‌شود.

عددی که بعد از علائم اختصاری فوق قرار می‌گیرد، معرف حداقل استحکام کششی، بر حسب $\frac{kg}{mm^2}$ می‌باشد.



در فولادهای ابزارسازی غیر آلیاژی، پس از حرف W اعدادی (۱، ۲ و ۳) وجود دارند که معرف مرغوبیت آن‌ها بوده که عدد کوچک‌تر معرف فولاد مرغوب‌تر (درجه ۱) می‌باشد.



مثال ۵:فولاد با استاندارد GS۶۰ دارای کدام مشخصه است؟

۱) ریختگی به استحکام کششی معین
۲) ریختگی با کربن مشخص
۳) نجیب با استحکام کششی مشخص
۴) ابزار با درصد کربن معین

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» فولاد با مشخصه فوق، ریختگی در ماسه بوده و استحکام کششی آن حدود $۶۰۰\frac{N}{mm^2}$ است.

فولادهای ابزارسازی غیر آلیاژی مخصوص را با حروف WS نشان می‌دهند (مثل $C۹۰WS$). در فولادهای ساختمانی و ریخته‌ای که اطمینان بیشتری از آن‌ها انتظار می‌رود، به جای حرف از نقطه استفاده می‌شود، سپس عددی از ۱ تا ۹ در کنار آن قرار دارد. این اعداد معرف خصوصیاتی هستند که از طرف تولیدکننده فولاد مربوطه تضمین شده است.

مثال ۶: فولاد غیرآلیاژی بهسازی شده با کدام علامت مشخص می‌شود؟

۱) $C_{۲۵}V_{۵۵}$ ۲) $Ck_{۲۵}V_{۵۵}$ ۳) $۲۵C_{۴۵}$ ۴) $C_m ۴۵$

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» فولاد غیر آلیاژی بهسازی شده را با علامت $C_{۲۵}V_{۵۵}$ نشان می‌دهند که عدد ۵۵، مقاومت کششی آن تا $۵۵\frac{kg}{mm^2}$ را نشان می‌دهد.

مثال ۷: کدام استاندارد مربوط به فولاد ابزار ساده کربنی است؟

۱) $X۱۲CrMo۴$ ۲) $۱۲CrMo۴$ ۳) $C_{۲۵}W$ ۴) $C_{۹۰}W$

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» استاندارد فولادهای ابزار ساده کربنی، $C_{۹۰}W$ است.

فولادها، خصوصیات وکاربردهای آن‌ها

به دلیل تنوع و کاربرد فراوان فولادها، ذکر خلاصه خصوصیات هر کدام امکان‌پذیر نبوده و فقط می‌توان سعی در گروه‌بندی کلی آن‌ها نمود. برای این منظور بهتر است که ابتدا به تعریف فولادهای غیرآلیاژی و فولادهای آلیاژی بپردازیم.

فولادهای غیرآلیاژی ساده یا کربنی

فولادهای غیرآلیاژی از ۰/۱ درصد تا ۱/۵ درصد کربن داشته و دارای عناصر دیگری نیز می‌باشند که در هر حال مقدار آن‌ها نبایستی از حد معینی (۰/۵درصد سیلیسیم، ۰/۸درصد گوگرد و منگنز، ۰/۱درصد آلومینیوم یا تیتانیم، ۰/۲۰ درصد مس) بیشتر باشد. این فولادها را به دلیل آنکه به جز کربن، سایر عناصر موجود در آن‌ها نقش تعیین کننده‌ای ندارند، فولادهای کربنی نیز می‌نامند.

فولادهای آلیاژی کم‌آلیاژ و پرآلیاژ

اگر فولاد را با فلزاتی مانند کرم، نیکل، ولفرام، کبالت، مولیبدن، وانادیم و غیره جهت افزایش و تأمین خواص مورد نظر آلیاژ کنند، فولادهای آلیاژی به دست می‌آیند. چنانچه مجموع عناصر یاد شده از ۵ درصد کمتر باشد، فولاد را کم‌آلیاژ و چنانچه مجموع آن‌ها ۵ درصد تا ۴۵ درصد باشد، پرآلیاژ می‌گویند. فولادهای پرآلیاژ ممکن است تا ۲/۲ درصد کربن نیز داشته باشند.

برای گروه‌بندی فولادها به دلیل آنکه تقسیم‌بندی دقیقی بین آن‌ها امکان‌پذیر نیست، می‌توان آن‌ها را به دو گروه اصلی، فولادهای ساختمانی و ابزارسازی تقسیم نمود.

الف) فولادهای ساختمانی

فولادهای ساختمانی به فولادهایی می‌گویند که از آن‌ها بتوان به عنوان مواد اولیه برای ساختمان‌ها (اسکلت‌های فلزی، اسکلت پل‌ها) و همچنین برای ساختن قطعات وسایل نقلیه، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات (محورها، میل‌لنگ‌ها، دسته پیستون‌ها) استفاده کرد.

امروزه در حدود ۹۰ درصد محصولات کارخانجات فولادسازی را فولادهای ساختمانی تشکیل می‌دهند که از آن جمله می‌توان به گروه‌های زیر پرداخت:

۱ـ فولادهای ساختمانی معمولی

این فولادها، جزو فولادهای غیرآلیاژی بوده و چون در انتخاب آن‌ها استحکام کششی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، لذا آن‌ها را بر حسب استحکام کششی طبقه‌بندی می‌کنند. استحکام کششی این فولادها متناسب با درصد کربن موجود در آن‌ها افزایش یافته و برعکس انبساط (کش آمدن) آن‌ها تقلیل پیدا می‌کند یا به عبارت دیگر با افزایش کربن، شکنندگی فولاد زیادتر می‌شود. همچنین ازدیاد کربن باعث می‌شود که قابلیت تغییر فرم (در حالت سرد یا گرم)، قابلیت جوشکاری و براده‌برداری فولادها کاهش یابد.

این فولادها از ۰/۱۲ درصد تا ۰/۶ درصد کربن داشته و آن‌ها را در سه گروه با درجه‌ی مرغوبیت ۱، ۲ و ۳ تولید و به بازار عرضه می‌کنند.

۲ـ فولادهای اتوماتیک عدم قابلیت جوشکاری و عدم تغییر فرم سرد آنها

این فولادها که به نام فولادهای خوش‌تراش نیز معروف می‌باشند، جزو فولادهای ساختمانی هستند. استحکام این فولادها بر حسب درصد عناصر موجود متفاوت بوده که در هنگام براده‌برداری، براده‌های کوتاه ایجاد شده و سطح خوبی (پرداخت) را به دست می‌دهند. این خاصیت بیشتر از همه به دلیل وجود گوگرد (S) می‌باشد که مقدار آن در این‌گونه فولادها از ۰/۱۸ تا ۰/۴ درصد می‌باشد. وجود گوگرد باعث می‌شود که فولاد در حالت گرم، شکننده شده و براده‌های کوتاهی در هنگام براده‌برداری به وجود آیند. به همین دلیل در ماشین‌های اتوماتیک که براده‌های بلند باعث اختلالات فراوانی مانند پیچیدن براده به دور ابزار کار، سائیدگی و کم شدن دوام ابزار می‌گردند، از فولادهای اتوماتیک استفاده می‌نمایند.

بدیهی است که وجود گوگرد زیاد در این فولادها، استحکام آن‌ها را در مقابل ضربه تقلیل می‌دهد و از معایب دیگر فولادهای خوش‌تراش، عدم قابلیت جوشکاری و تغییر فرم سرد آن‌ها می‌باشد.

فولادهای اتوماتیک به جز گوگرد، دارای ۰/۰۷ تا ۰/۶۵درصد کربن، ۰/۶ تا ۱/۵درصد منگنز، و ۰/۰۵ تا ۰/۴درصد سیلیسیم بوده و در صورتی‌که شکنندگی بیشتر براده و سطح مرغوب‌تری مورد نظر باشد، ۰/۱۵ تا ۰/۳درصد سرب نیز به آن‌ها اضافه می‌نمایند. لازم به یادآوری است که طبقه‌بندی فولادهای اتوماتیک مشابه فولادهای آلیاژی می‌باشد.

مثال ۸: **فولادهای اتوماتیک به .....**

۱) ساده کربنی ساختمانی ۲) ساختمانی با ۰/۴ درصد گوگرد و منگنز

۳) پر کربن با ۰/۴ درصد کربن و منگنز ۴) آلیاژی کرم- منگنزدار

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» فولاد اتوماتیک فولادی ساختمانی با حدود ۰/۴ درصد گوگرد و منگنز بوده و به آن فولاد خوش‌تراش نیز گفته می‌شود.

◆ ◆ ◆ ◆

۳ـ فولادهای قابل سخت‌کاری (آبکاری) سطحی (عملیات حرارتی)

از این فولادها برای ساختن قطعاتی استفاده می‌شود که می‌بایست دارای سطح خارجی سخت و قسمت داخلی (مغز) نرم باشند. سطح آن‌ها در مقابل سایش مقاوم بوده و قسمت داخلی آن‌ها قابلیت تحمل خود را در مقابل ضربه حفظ کرده تا این قطعات شکننده نباشند. برای این منظور ابتدا کربن سطح خارجی آن‌ها را با روش‌های مختلفی افزایش داده و سپس آبکاری می‌نمایند. برای اینکه قسمت داخلی این فولادها پس از آبکاری نرم باقی بماند، بایستی مقدار درصد کربن آن کمتر از ۰/۲ درصد باشد. فولادهای ساده کربنی معمولاً با C نشان داده می‌شوند که عدد مشخصه‌ی درصد کربن در جلوی آن‌ها نوشته می‌شود که بایستی در $\frac{۱}{۱۰۰}$ ضرب شود تا درصد کربن مشخص گردد و اگر عاری از گوگرد و فسفر باشد به شکل Ck و اگر کم‌گوگرد باشد به شکل Cm نشان داده می‌شود.

مثال ۹: فولاد با کدام استاندارد قابلیت آبکاری سطحی دارد؟

۱) $C۱۵$ ۲) $C۸۵$ ۳) $۳۵CrNi۱۲$ ۴) $C_{۱۰۰}W$

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» چون کم‌کربن است (۰/۱۵درصد)، پس قابلیت آبکاری سطحی دارد.

◆ ◆ ◆ ◆

۴ـ فولادهای قابل بهسازی (عملیات حرارتی دیده)

این فولادها نیز جزو فولادهای ساختمانی بوده و دارای ۰/۲ تا ۰/۶درصد کربن می‌باشند. استحکام کششی و مقاومت این فولادها را می‌توان به وسیله‌ی بهسازی (سخت کردن و برگشت دادن تا درجه حرارت ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) افزایش داد. فولادهای قابل بهسازی برای ساخت قطعاتی مانند میل‌لنگ‌ها، محور لنگ پرس‌های ضربه‌ای و محور وسایل نقلیه که در معرض ضربه و برخورد قرار دارند، به کار می‌روند. در جدول زیر نمونه‌هایی از فولادهای قابل به سازی را مشاهده می‌نمایید.

نمونه‌هایی از فولادهای قابل بهسازی

علامت نرم شده	خصوصیات	موارد استفاده
C۴۵G	قابلیت کوره‌کاری خوب، نرم تابانده شده (در موقع تولید فولاد)	پیچ و مهره‌ها، انگشتی‌ها، محورها، شفت‌ها و میل‌لنگ‌ها
۴۰Mn۴	قابل کوره‌کاری	قطعات منتقل کننده‌ی قدرت مانند پلوس‌ها و میل‌لنگ‌ها
۳۴Cr۴Ni	قابل جوشکاری، نرمال تابانده شده	برای تهیه‌ی قطعات ماشین‌آلات مانند دسته پیستون‌ها و شفت‌ها
۳۰CrNiMo۸V	مقاوم در برابر تنش‌ها، بهساخته در موقع تهیه‌ی فولاد	پروانه‌ی کشتی‌ها، ملخ هواپیماها و میل‌گاردان

۵ـ فولادهای قابل ازته کردن

این فولادها قابلیت جذب ازت را دارند. به همین دلیل می‌توان سطح آن‌ها را پس از بهسازی به وسیله جذب سطحی ازت، سخت نمود. این فولادها جزو فولادهای آلیاژی بوده و ممکن است حاوی فلزاتی مانند کرم، مولیبدن و آلومینیوم باشند. فلز آلومینیوم قابلیت جذب ازت را در فولاد افزایش می‌دهد. از این فولادها در ساخت قطعاتی استفاده می‌شود که حین عملیات حرارتی نباید تاب بردارد. در جدول زیر نمونه‌هایی از این نوع فولادها آورده شده است.

نمونه‌هایی از فولادهای قابل ازته کردن

علامت مشخصه	خصوصیات	موارد استفاده
۳۱Cr Mo۱۲	مقاوم در برابر تغییر فرم گرم	وسایل اندازه‌گیری، سوپاپ اتومبیل
۴۱CrAlMo۷	قطعاتی که در مقابل حرارت بایستی مقاوم باشند	قطعات توربین‌های بخار
۳۴CrAlNi۷	مقاوم در برابر سایش	برای ساختن قطعات بزرگ و مقاوم در برابر سائیدگی

۶ـ فولادهای فنر

فولادهای فنر بایستی علاوه بر استحکام کششی زیاد، خاصیت الاستیسیته خوبی داشته و در مقابل ارتعاشات نیز مقاوم باشند. این خصوصیات تنها به درصد عناصر موجود در فولاد بستگی ندارد بلکه به وسیله عملیات حرارتی و تغییر فرم در حالت سرد می‌توان، خواص آن را تغییر داده و خصوصیات مورد نظر را به دست آورد. فولادهای فنر را نیز در دو گروه آلیاژی و غیرآلیاژی تولید می‌کنند. در جدول زیر نمونه‌هایی از این فولاد را مشاهده می‌نمایید.

نمونه‌هایی از فولادهای فنر

علامت مشخصه	خصوصیات	موارد استفاده
۳۸Si۶	فولاد فنر غیرآلیاژی با ۱/۵ سیلیسیم	واشرهای فنری، فنرهای بشقابی
۳۰WCr V۱۷۹	فولاد فنر با مقاومت زیاد در حالت گرم (تا $۵۰۰^{\circ}C$)	فنر سوپاپ اتومبیل
X۱۲CrNi۱۷ ۷	فولاد فنر زنگ نزن، از این فولاد در اثر کشیدن می‌توان بدون آبکاری و برگشت مفتول فنری با قطر کمتر از ۰/۵میلیمتر و استحکام کششی تا $۱۹۰۰\frac{N}{mm^۲}$	فنرهای زنگ‌نزن با استحکام کششی زیاد

مثال ۱۰: فولاد اتوماتیک دارای کدام استاندارد می‌تواند باشد؟

۱) $CK_{۶۰}V$ ۲) $St_{۱۲-۲}$ ۳) $CK_{۴۵}$ فسفر و گوگرددار ۴) $C_{۳۰}$ با ۰/۴درصد گوگرد

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» زیرا فولاد اتوماتیک، ساختمانی بوده و گوگرد دارد ولی فسفر ندارد.