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.

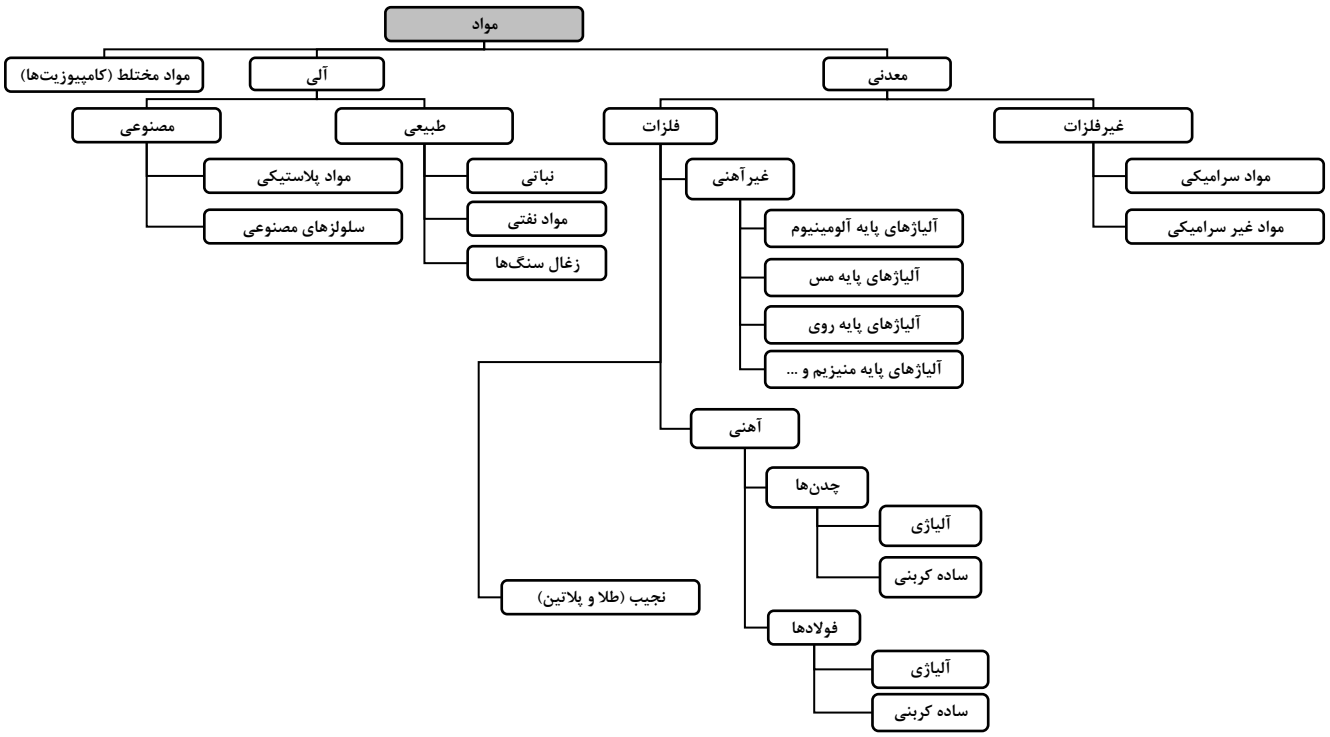
www.modaresanesharif.ac.ir

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.

www.modaresanesharif.ac.ir

منشأ تشکیل مواد معدنی و آلی

تقریباً همه مواد مورد استفاده موجود در صنایع از کانی‌ها تشکیل شده‌اند. تعداد عناصری که تاکنون شناخته شده‌اند حدود یکصدو هفت عنصر هستند که شامل فلزات (Metals) و شبه فلزات یا نیمه فلزات (Metaloids) و غیر فلزات (Nonmetals) می‌باشند. از عناصر مختلف به جز طلا هیچ‌کدام در طبیعت به طور خالص وجود ندارند. حدود چهل عنصر به طور گسترده در صنایع استفاده می‌شوند که بعضی از آن‌ها مثل مس هم به صورت خالص و هم به صورت آلیاژی و بقیه تقریباً به طور ترکیبی در صنایع استفاده می‌شوند.

کره زمین شامل عناصر و ترکیبات مختلف می‌باشد که عمدتاً فلزات و ترکیبات سبک آن‌ها در سطح زمین و فلزات و ترکیبات سنگین در مرکز زمین قرار گرفته‌اند، به طوری که مرکز زمین از مذاب فلزات مختلف سنگین مثل طلا، کرم، کبالت و ... تشکیل شده‌اند. در مجموع، چگالی کره زمین به طور متوسط حدود $۳/۵۶ \frac{g}{cm^۳}$ است.

کانی‌ها (ore) عموماً به مواد معدنی گفته می‌شود که ترکیبی از فلزات و عناصر غیر آلی (غیر از ترکیب پایه کربن هیدروژن) باشد و از نظر ارزش اقتصادی قابل توجیه باشد، بعنوان مثال سنگ معدن آهن موقعی قابلیت استخراج دارد که اولاً حداقل درصد آهن آن حدود ۳۵% باشد. ثانیاً مقدار آهن موجود آن برای احداث تأسیسات قابل توجیه باشد و ثالثاً خیلی در عمق زمین نباشد.

خیلی از معادن و ذخایر زیرزمینی هستند که بدلیل داشتن ناخالصی‌های مضر (مثل گوگرد و فسفر موجود در آهن) و علیرغم غنی بودن درصد عنصر مورد استخراج بدون استفاده مانده است.

به طور کلی ارزش اقتصادی و قابلیت بهره‌برداری و قابلیت استخراج مواد معدنی به عواملی بستگی دارد که عبارتند از:

۱ـ عدم وجود عناصر و ناخالصی‌های مضر ۲ـ مقدار ذخیره و محل جغرافیای معادن ۳ـ دسترسی به وسایل و تجهیزات و تسهیلات حمل و نقل از معدن تا محل مصرف

بیشتر درصد کانی‌ها را اکسیدها تشکیل می‌دهند و در رده‌های بعد، فراوانی کربنات‌ها و سیلیکات‌ها و سولفیدها و ... قرار دارند.

تمام کانی‌ها بعنوان مواد اولیه در استخراج عناصر فلزی و آلیاژها و نیز مواد و عناصر غیر فلزی استفاده می‌شوند.

عناصر کمی در کره‌ی زمین به صورت طبیعی یافت می‌شوند که طلا از جمله‌ی این عناصر است. این عناصر به فلزات نجیب (Noble metals) معروف‌اند. بقیه عناصر بصورت ترکیبات مختلف مثل اکسید و سولفور و ... وجود دارند که بایستی استخراج شوند.

نکته ۱: به طور کلی می‌توان گفت که عمده اختلاف بین فلزات و غیر فلزات براساس نوع پیوند اتمی آن‌هاست. در این راستا، فلزات دارای پیوند فلزی بوده در حالی که غیر فلزات پیوند فلزی ندارند. زمینه‌های بحث علم مواد بسیار وسیع بوده و تمامی موارد مندرج در تعریف فوق را دربر می‌گیرد.

در ادامه بطور مختصر مواد را شناسایی می‌کنیم. سپس برحسب نیاز رشته‌های مختلف به بحث درباره‌ی بعضی شاخه‌ها بطورکامل می‌پردازیم.

همانطور که گفتیم فرق اصلی فلزات و غیر فلزات در نوع پیوند آن‌هاست. بطورکلی پیوند اتمی در غیر فلزات خطی بوده و جهت حرکت الکترون‌های پیوندی مشخص و معین و محدود به چند اتم می‌باشد، در حالی که فلزات، پیوند فلزی دارند و جهت حرکت الکترون‌های پیوندی نامشخص بوده و این الکترون‌ها در سه بعد حرکت می‌کنند و همین عامل باعث می‌شود که الکترون‌های آزاد در حال حرکت حامل انرژی باشند و هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار خوبی داشته باشند. پیوند فلزی، پیوندی شبیه پیوند کووالانسی است؛ با این تفاوت که پیوندهای فلزی شامل الکترون‌های آزاد حامل انرژی می‌باشند ولی پیوندهای کووالانسی ، الکترون‌های آزاد ندارند. یکی از دلایل هدایت الکتریکی و حرارتی و تغییر رنگ فلزات، همین وجود الکترون‌های آزاد در آن‌هاست. غیر فلزات چون در حالت انجماد پیوند خطی دوبعدی دارند و الکترون‌ها بین اتم‌های محدود در پیوند به اشتراک گذاشته می‌شود و آزاد نیستند، حامل انرژی الکتریکی و حرارتی نبوده و عایق الکتریکی و حرارتی خوبی هستند. بنابراین غیر فلزات عموماً به عنوان عایق الکتریکی و حرارتی عمل می‌کنند، در حالی که برای هدایت الکتریکی و حرارتی عمدتاً فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در زیر به شرح مختصری درباره‌ی انواع مواد فلزی و غیرفلزی و معدنی غیرآلی می‌پردازیم:

مواد فلزی و غیر فلزی، خواص و کاربرد آن‌ها

مواد فلزی: در تشریح مواد می‌توان گفت که بسیاری از خواص در فلزات و آلیاژهای مختلف مشترک هستند. بدلیل وجود انعطاف‌پذیری و استحکام مناسب در فلزات، مجموعه‌ای از خواص مکانیکی دیگر نظیر مقاومت به پیچش، خمش، برش، سایش و کشش و ... را می‌توان در فلزات و آلیاژها به وضوح مشاهده کرد. از فلزات خالص به ندرت در صنایع استفاده می‌شود. فلزات خالص عموماً در صنایع الکتریکی به کار می‌روند و در صنایع دیگر عمدتاً بصورت آلیاژ مصرف می‌شوند. دسته‌ای از مواد غیر فلزی در صنایع مکانیک مستقیماً به عنوان ابزار استفاده نمی‌شوند بلکه به عنوان جزئی از موتور و

www.modaresanesharif.ac.ir

گرداننده صنعت کاربرد دارند. مواد سوختنی از آن جمله‌اند زیرا از نفت‌ها و زغال‌سنگ‌ها تشکیل شده‌اند. مواد سوختنی علیرغم گستردگی انرژی هسته‌ای هنوز مهم‌ترین ماده جهت تولید انرژی هستند که از هیدروکربورها تشکیل شده‌اند. دسته دیگر، سرمت‌ها (سرامیک متال‌ها) **(Cermets)** هستند که عمده ترکیب آن‌ها از فلزات است؛ ولی دارای ترکیب شیمیایی بوده و خاصیت فلزی ندارند. مثل کاربید تنگستن، کاربید وانادیم و ... که مواد سخت و شکننده را تشکیل می‌دهند.

مواد فلزی عموماً هدایت الکتریکی و حرارتی خوبی دارند. بسیاری از این مواد استحکام مکانیکی و انعطاف‌پذیری مناسب را توأماً شامل می‌شوند، در حالیکه اغلب این مشخصه در غیر فلزات دیده نمی‌شوند. به دلیل توأم بودن استحکام و انعطاف‌پذیری مناسب مواد فلزی، گستره وسیعی از خواص مکانیکی از قبیل مقاومت فشاری، مقاومت پیچشی، مقاومت خمشی یا مقاومت برشی در فلزات دیده می‌شود. از فلزات بصورت خالص یا آلیاژی در صنایع بسیار زیاد استفاده می‌شود. در حالی که فلزات خالص در صنعت کاربرد محدودی دارند و بیشتر در صنایع الکتریکی و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی کاربرد دارند. در فصل‌های بعد در مورد آلیاژها، نحوه ساخت، انتخاب و کاربرد آن‌ها در صنایع بطور مفصل بحث خواهد شد.

نکته ۲: معمولاً درشرایط دمایی مختلف، فلزات دارای شبکه‌های کریستالی متفاوتی هستند. تغییرات شبکه کریستالی در اثر تغییرات درجه حرارت را آلوتروپی «Alotropy» می‌گویند.

مواد غیرفلزی: همان طور که در نمودار طبقه‌بندی مواد مشخص شده است، تعداد مواد غیر فلزی دارای وسعت زیادی هستند. بخشی از این مواد معدنی غیر آلی و قسمت عمده‌ی آن مواد سرامیکی هستند که کاربرد وسیعی در صنایع دارند.

مواد سرامیکی: به تمام مواد جامد معدنی و غیرفلزی اطلاق می‌شود.

به‌طور عمده، مواد سرامیکی از ترکیب شیمیایی فلزات با بعضی مواد غیر فلزی بخصوص اکسیژن تشکیل می‌شود. بیشتر آن‌ها به تشکیل ترکیبات اکسیدی مثل $CuO, k_2O, Na_2O, SiO_2, MgO, Al_2O_3, (2Fe_2O_3, 3H_2O), Fe_2O_3$ و... دارند که سیمان، بتن، آجر ، سنگ‌های مختلف و آجرهای نسوز و شیشه‌های سرامیکی از آن جمله‌اند و نیز موادی مثل کاربیدها، نیتریدها و سولفیدها که ترکیبات آن‌ها به ترتیب مانند VC (کاربید وانادیم) ، TiC (کاربید تیتانیم) و SiC (کاربید سیلیسیم) که در ساخت سنگ سنباده‌ها و نیز ساخت فرزهای انگشتی و ابزارهای برشی و آجرهای نسوز استفاده می‌شود. همچنین Mg_3N_2 (نیترید منیزیم) و FeS_2 (سولفیدآهن) از جمله مواد سرامیکی می‌باشند.

بعضی از این مواد در درجه حرارت‌های مختلف، شکل و ساختمان‌های مختلف پیدا می‌کنند که به آن‌ها (Polymorph) یا چندشکلی گویند. به این شکل‌ها، مدیفیکاسیون نیز گفته می‌شود. به عنوان نمونه، سیلیس (SiO_2) که دارای چهار شکل: کوارتز، تریدیمیت، کریستوبالیت و فاز شیشه می‌باشد. کربن دارای مدیفیکاسیون آرایشی و یک مدیفیکاسیون بی‌شکل است که از آن‌جمله : الماس با پیوند کووالانسی با سختی حدود ۲۰۰۰ برینل و گرافیت با بین اتم‌ها با سختی حدود ۲۰ برینل می‌باشد. هرگاه کربن در فشار بسیار بالا و درجه حرارت بالای $3000^\circ C$ قرار گیرد تبدیل به الماس می‌شود که دارای پیوند کووالانسی بسیار قوی است. از این رو الماس دارای سختی و نقطه‌ی ذوب بالایی می‌باشد. تمام اجسام سخت را معمولاً به الماس تشبیه می‌کنند. گرافیت نوعی فاز پایدار کربن می‌باشد که هدایت الکتریکی دارد در حالی که الماس فاقد این ویژگی است. کربن به صورت گرافیت به علت ساختار لایه‌ای که دارد و نیز به دلیل داشتن تنش برشی بسیار پایین به عنوان ماده روانکار جهت کاهش اصطکاک در سطوح تماس قطعات کاربرد وسیعی دارد و به دلیل نقطه‌ی ذوب بالا در راکتورهای هسته‌ای، غلاف سوخت و ساخت بوته‌های ذوب کاربرد دارد. نوع دیگر ساختار کربن، ساختار بی‌شکل (Amorphous) یا شیشه‌ای می‌باشد که به نام زغال شیشه‌ای معروف است و از تجزیه و تخریب ترکیبات آلی مثل سلولزها ساخته می‌شود و محصول آن به صورت رشته‌های کربن بوده و تحت فشار و درجه حرارت حدود $3000^\circ C$ بدست می‌آید. این زغال در حرارت محیط به صورت شیشه می‌شکند و در صنایع شیمیایی کاربرد وسیعی دارد. در ترکیباتی با فرمول SiO_2 بدلیل چهار ظرفیتی بودن سیلیسیم (Si)، پیوندهای کووالانسی و یونی (الکتروالانسی) در آن‌ها با هم دیده می‌شوند و دارای چهار مدیفیکاسیون با تعدادی آلوتروپی می‌باشند. در مواد سرامیکی ضریب هدایت الکتریکی بسیار کم و حتی منفی است. عایق خوبی برای حرارت و هدایت الکتریکی می‌باشند. در حالی که در فلزات، هدایت الکتریکی و حرارتی مثبت است. در مواد سرامیکی، استحکام فشاری ۵ تا ۱۰ برابر استحکام کششی است. این مواد بسیار ترد و شکننده هستند و نقطه ذوب بیشتر مواد سرامیکی بالا بوده و کاربرد وسیعی در صنایع نسوز و دیرگداز دارند. از دیگر مواد سرامیکی، اکسید مواد سیلیکاتی می‌باشد که انواع سیلیکات‌ها و مخلوط آن با سیلیس و اکسید آلومینیوم، خاک رس را تشکیل داده که در ساخت آجرهای ساختمانی کاربرد دارد. سیمان نیز از سرامیک‌های اکسیدی است که ترکیبات عمده آن SiO_2، Al_2O_3 و CaO و Fe_2O_3 است. این اکسیدها پس از پخت در کوره و در اثر حرارت به اکسیدهای مرکبی مانند: دو کلسیم سیلیکات ($2CaOSiO_2$) و سه کلسیم سیلیکات ($3CaOSiO_2$)، سه کلسیم آلومینات ($3CaO\ Al_2O_3$) چهار کلسیم آلومینوفریت ($4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3$) تبدیل می‌شوند که همان سیمان است.

www.modaresanesharif.ac.ir

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:

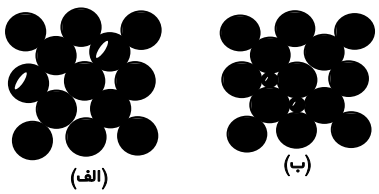
روی (Zn) با قطر اتمی $۲/۷۵A^\circ$ و مس (Cu) با قطر اتمی $۲/۵۵A^\circ$ است و مس حدود ۳۸/۴ درصد روی را در خود حل می‌کند. اختلاف قطر اتمی آن‌ها عبارت است از:

$$(۲/۷۵-۲/۵۵)A^\circ = ۰/۲۰A^\circ$$

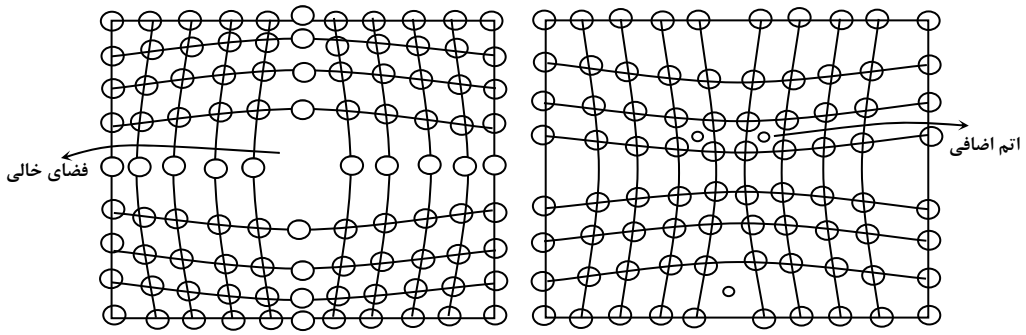
منگنز (Mn) با قطر اتمی $۳/۲A^\circ$ و مس (Cu) با قطر اتمی $۲/۵۵A^\circ$ است و مس فقط ۶/۵ درصد منگنز را می‌تواند در خود حل کند. اختلاف شعاع اتمی آن‌ها عبارت است از:

$$(۳/۲۰-۲/۵۵)A^\circ = ۱/۵۵A^\circ$$

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.



www.modaresanesharif.ac.ir



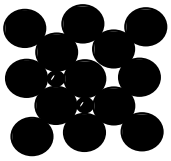
الف ـ نمایش اتم اضافی
ب ـ نمایش خلأ اتمی

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.

www.modaresanesharif.ac.ir

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:

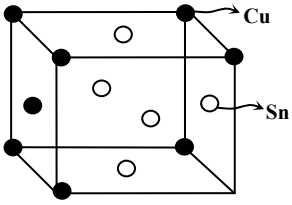
۱) حلال به اندازه کافی فضای خالی در بین شبکه خود داشته باشد.

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.

www.modaresanesharif.ac.ir

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:

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

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).

www.modaresanesharif.ac.ir

قابلیت انحلال محدود در حالت مذاب، مشخصه فلزاتی مانند $(Cu-Pb)$، $(Zn-Pb)$، $(Cr-Zn)$ و ... است که در حجم‌های اتمی و نقاط ذوب آن‌ها اختلاف زیادی وجود دارد.

وقتی فلزی با فلز دیگر یا با یک غیر فلز آلیاژ می‌شود، بین عناصر تشکیل دهنده محلول، واکنش‌های شیمیایی صورت می‌گیرد. الکترون‌های عناصر آلیاژی که پیوند ضعیفی با هسته‌ها دارند، به اتم‌های مجزا تعلق ندارند. ولی در کل، تمام مجموعه‌ها (مانند فاز جامد) شرکت می‌کنند و تشکیل یک سیستم منفرد برای تمامی محلول مذاب می‌دهند. در اینجا توزیع اتم‌های (یون‌های) عناصر تشکیل دهنده یک آلیاژ در محلول مذاب، بستگی به تأثیر متقابل نیروهای بین اتم‌های هم‌جنس و غیر هم‌جنس دارد. اجزای تشکیل دهنده یک آلیاژ در حالت جامد ممکن است یکی در دیگری حل شده و تشکیل محلول جامد دهند یا تشکیل ترکیبات شیمیایی دهند، یا آنکه پس از انجماد مخلوط‌های مکانیکی از دو جزء A و B (محلول‌های جامد) تشکیل دهند و یا آنکه بین اتم‌ها جا داده شوند. در اکثر موارد اجزای تشکیل دهنده یک آلیاژ، قابلیت انحلال متقابل محدودی در حالت جامد دارند. هرگاه هر یک از اجزای موجود در یک آلیاژ از حد قابلیت انحلال تجاوز کنند ، فلز اضافی تشکیل یک فاز متصل می‌دهد که شامل یک محلول جامد اشباع شده یا ترکیب شیمیایی و یا کریستال‌هایی از یکی از اجزاء است. یک ترکیب شیمیایی از این نظر که معمولاً خود دارای شبکه کریستال بوده و در بسیاری موارد مستلزم یک نسبت کمّی معین از مؤلفه‌ها برای تشکیل است، با محلول جامد اختلاف دارد.

« نمودار تعادلی آلیاژهای دوتایی که اجزایش در هر دو حالت جامد و مذاب در یکدیگر محلول هستند»

اکثر فلزات در حالت مذاب تشکیل محلول‌های مذاب همگن را می‌دهند. در تبدیل آن‌ها به یک حالت کریستالی جامد، همگنی بسیاری از آلیاژها حفظ می‌گردد و در نتیجه قابلیت انحلال آن‌ها حفظ می‌شود. محلول‌های جامد جانشینی و بین‌نشینی از این دسته می‌باشند زیرا چنین دیاگرام تعادلی را به وجود می‌آورند. این محلول‌ها می‌توانند محدود یا نامحدود باشند که به شرح هر کدام از آن‌ها می‌پردازیم.

«نمودار تعادلی آلیاژهای دوتایی دارای انحلال کامل (نامحدود) در حالت مذاب و جامد»

برای این که دو فلز تشکیل کریستال مخلوط دهند باید شرایط زیر را دارا باشند:

۱ـ هر دو فلز باید در حالت مذاب کاملاً در یکدیگر حل شوند.

۲ـ هر دو فلز باید دارای یک شبکه باشند. دو فلز وقتی می‌توانند تشکیل کریستال مخلوط را بدهند (محلول جامد تشکیل دهند) که هر دو دارای شبکه کریستالی BCC یا FCC یا HCP و یا . . . باشند.

۳ـ اعداد ثابت شبکه کریستالی حداکثر۱۴ درصد با یکدیگر تفاوت داشته باشند.

۴ـ هر دو فلز می‌بایست دارای خواص شیمیایی مشترکی باشند. مثلاً سدیم (Na) که دارای شبکه کریستالی BCC است، به دلیل عدم شباهت شیمیایی در جدول مندلیف نمی‌تواند با تنگستن (W) که آن هم دارای شبکه کریستالی BCC است، ترکیب شود.

دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی با انحلال کامل را در دیاگرام (۱) ملاحظه می‌کنید.

برای رسم دیاگرام آلیاژهای دوتایی بدین ترتیب عمل می‌شود که بر حسب تغییرات غلظت و افزایش درصد عنصر آلیاژی در عنصر پایه، درجه حرارت اولین نطفه‌های انجماد تغییر می‌کند، سپس نقاط تشکیل اولین نطفه‌های انجماد را در درجه حرارت و غلظت‌های مختلف به هم وصل می‌کنیم. که آن ها را خط مذاب (Liquidus) می‌نامند. به همین ترتیب نقاط تشکیل آخرین نطفه‌های انجماد بر حسب غلظت و درجه حرارت‌های مختلف را به هم وصل می‌کنیم که آن را منحنی جامد (Solidus) می‌نامند. منطقه بین خطوط جامد و مایع را منطقه خمیری (Mashy) می‌گویند. فاصله حرارتی بین اولین نطفه انجماد و آخرین نطفه انجماد در هر آلیاژ $(T_2 - T_1 = \Delta T)$ را فاصله (دامنه) انجماد و تغییرات فاصله انجماد نسبت به زمان را شیب حرارتی انجماد یا ذوب می‌گویند.

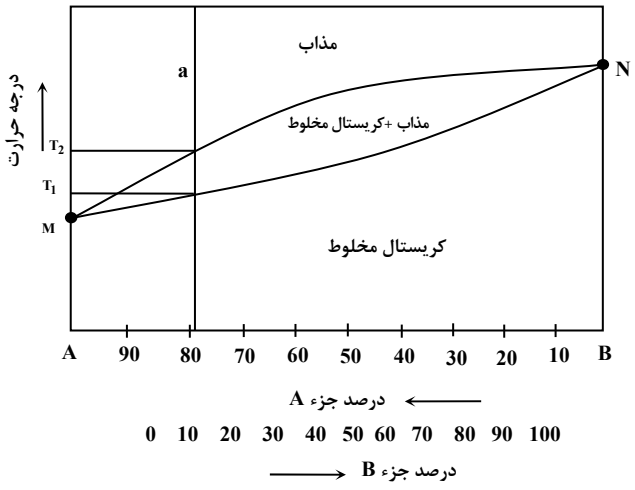
مثال۱۰: هرگاه T_1 و T_2 به ترتیب درجات حرارت شروع و پایان انجماد و یک آلیاژ با انجماد خمیری باشد و t زمان انجماد باشد، در این صورت شیب حرارتی سرد کردن از کدام رابطه به دست می‌آید؟

۱) $T_2 - T_1$ ۲) $\frac{T_2 - T_1}{\Delta t}$ ۳) $t_2 - t_1$ ۴) $\frac{\Delta t}{\Delta T}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» شیب حرارتی عبارت است از تغییرات درجه حرارت سرد کردن به تغییرات زمان سرد کردن یعنی: $\frac{\Delta T}{\Delta t}$

www.modaresanesharif.ac.ir

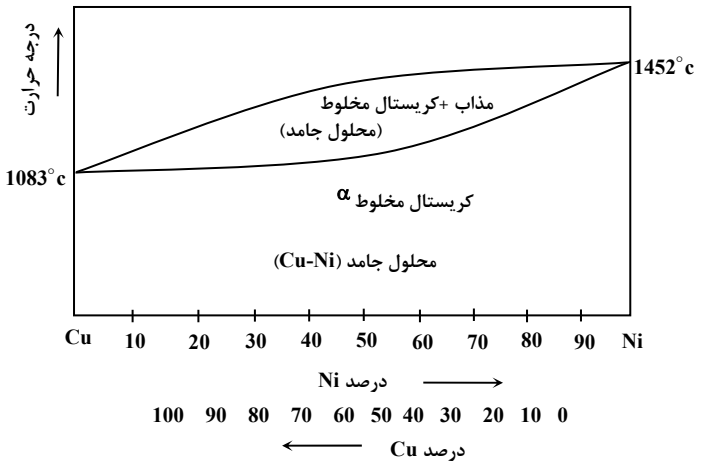
همان‌طور که روی دیاگرام (۱) مشاهده می‌شود، خط جامد و مذاب از هم متمایزند. هر مقدار دلخواه از دو جزء A و B با هم تشکیل محلول جامد (کریستال مخلوط) را می‌دهند، فلز پایه و فلز آلیاژی به دلیل این‌که هر دو دارای یک ساختمان کریستالی هستند، می‌توانند عوض شوند؛ یعنی یک بار B در A حل شود (تا ۵۰ درصد فلز A) و یک بار A در B حل شود (فلز B بیش از ۵۰ درصد).



دیاگرام (۱)

این نوع محلول در مورد آلیاژ مس ـ نیکل $(Cu-Ni)$ دیاگرام (۲) نیز صادق است. هر دو فلز دارای شبکه FCC هستند. عدد ثابت شبکه برای مس $a=۳/۶۱۵۲A^\circ$ و عدد ثابت شبکه نیکل $a=۳/۵۲۳۸A^\circ$ است که ۲/۵ درصد با هم اختلاف دارند. مس با عدد اتمی ۲۹ و نیکل دارای عدد اتمی ۲۸ در جدول مندلیف نیز همسایه می‌باشند.

در اینجا آلیاژ مس ـ نیکل $(Cu-Ni)$ می‌تواند به آلیاژ نیکل ـ مس $(Ni-Cu)$ تبدیل شود. فاصله بین دو خط انجماد را فاصله انجماد و منطقه بین دو خط را منطقه خمیری می‌گویند.



دیاگرام (۲)

مثال۱۱: کدام دو عنصر در آلیاژسازی می‌توانند با هم آلیاژ کاملاً کریستال مخلوط تک فازی تشکیل دهند؟

۱) نیکل ـ مس ۲) مس ـ قلع ۳) نیکل ـ مس ۴) مس ـ قلع

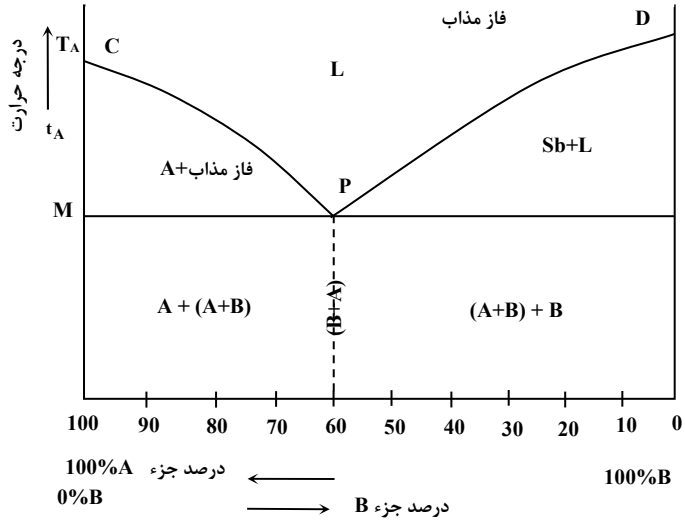
پاسخ: گزینه «۱»

نیکل و مس دارای شبکه FCC هستند. قلع با شبکه BCT جامد می‌شود و آهن و مس به ترتیب شبکه BCC و FCC دارند؛ پس با توجه به سایر شرایط مساوی فقط مس و نیکل می‌توانند انحلال کامل تک فازی داشته باشند.

«نمودار تعادلی آلیاژهای دوتایی وقتی که دو عنصر در حالت مذاب، انحلال کامل داشته ولی در حالت جامد انحلالی ندارند»

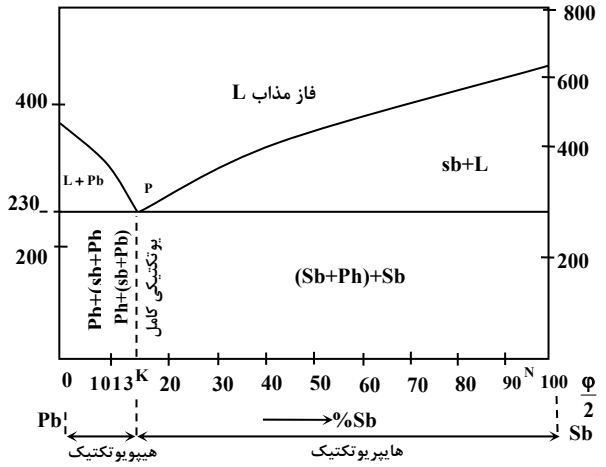
در این حالت آلیاژ پس از انجماد شامل یک مخلوط مکانیکی از دو جزء اولیه می‌باشد و فلزاتی که آلیاژهایی از این دو نوع تشکیل می‌دهند، شبکه کریستالی آن‌ها را حفظ می‌کنند. نمودار روبه‌رو این مسأله را مشخص می‌کند. در ترسیم نمودارهای آلیاژهای دوتایی از محورهای افقی و عمودی y و x استفاده می‌گردد. روی محور عمودی، درجه حرارت آلیاژ مشخص می‌گردد و از مبدأ مختصات به طرف بالا مقدار درجه حرارت زیاد می‌گردد و از بالا به طرف مبدأ مختصات درجه حرارت کم می‌گردد. همان طور که روی محور افقی درصد ترکیبی هر یک از دو فلز تشکیل‌دهنده آلیاژ نشان داده می‌شود، آلیاژ ذوب می‌شود و به فوق ذوب می‌رسد. انجماد آلیاژ به درصد خلوص هر یک از اجزاء در ترکیب آلیاژ بستگی دارد. هرگاه مذاب خالص باشد در نقطه ذوب خود شروع به انجماد می‌کند.

www.modaresanesharif.ac.ir



هرچه ناخالصی در تشکیل آلیاژ زیاد می‌گردد نقطه ذوب پایین می‌آید تا نقطه P برسد (در دیاگرام بالا ۶۰ درصد فلز A و ۴۰ درصد فلز B است). نقطه P حداقل درجه حرارت انجماد آلیاژ می‌باشد، پس از این نقطه (P) هرچه به درصد فلز B اضافه شود، درصد فلز A کم می‌گردد و نقطه ذوب آلیاژ بالا می‌رود تا نقطه T_B که درصد فلز B ۱۰۰ درصد و درصد فلز A صفر می‌شود. این درجه حرارت نقطه ذوب فلز B می‌باشد. منحنی CPD را خط مذاب (L) می‌نامند، بالای خط CPD آلیاژ در حالت مذاب می‌باشد و پایین این منحنی‌ها تا خط MPN مایع و جامد به طور توأم وجود دارند که به منطقه خمیری معروف است. خط MPN را خط جامد (Solidus) می‌نامند، زیرا پایین این خط فقط فاز جامد و آلیاژ جامد داریم. نقطه P به عنوان نقطه خاص در این منحنی خودنمایی می‌کند؛ زیرا در این نقطه آلیاژ مذاب به طور همزمان با هر دو جز اشباع می‌شود.

یا مذاب به دو فاز جامد A و B تبدیل می‌گردد ($L \xrightarrow{cooling} (A+B)$). ضمناً این نقطه در پایین‌ترین درجه حرارت در یک سیستم معین به وجود می‌آید (T_E) . نقطه P را نقطه یوتکتیک (Eutectic) و مخلوط دو فاز را مخلوط یوتکتیکی می‌نامند.

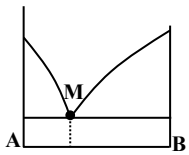


این آلیاژ مخصوص فلزاتی است که به هر نسبتی با هم محلول نمی‌شود و به صورت مخلوط مکانیکی عمل می‌کنند. در دیاگرام قبل، آلیاژهایی که حاوی کمتر از ۴۰ درصد عنصر B هستند، در سمت چپ نقطه P قرار می‌گیرند و به آلیاژهای هیپویوتکتیک (ماقبل یوتکتیک) معروف‌اند. در اینجا آلیاژهایی که به ۴۰ درصد عنصر B از سمت چپ نزدیک باشند، بیشتر دارای ساختمان ترکیب یوتکتیکی به علاوه مقداری از مؤلفه‌های اضافی A می‌باشند. آلیاژهایی که دارای ترکیبی بیشتر از ۴۰ درصد عنصر B می‌باشند، آلیاژ هایپریوتکتیکی هستند. هرچه درصد B از سمت راست به نقطه P نزدیکتر باشد، بیشتر ساختمان یوتکتیکی، به علاوه مقدار اضافی مؤلفه B را دارد.

مثال بالا در مورد نمودار تعادلی سیستم سرب ـ آنتیموان(Pb – sb) صادق است.

باید توجه داشت که در دیاگرام تعادلی آلیاژهای سرب ـ آنتیموان روی خط PK ، ۱۰۰ درصد ترکیب یوتکتیکی داریم.

مثال۱۲: در دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی مقابل می‌توان گفت:



۱) انحلال B در A بیشتر است.
۲) انحلال A در B بیشتر است.
۳) احتمال ترکیب شیمیایی A و B وجود دارد.
۴) A و B انحلال ندارند.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» دیاگرام ذکر شده مربوط به آلیاژهای دوتایی با مخلوط مکانیکی و با تحول یوتکتیکی در نقطه M می‌باشد و A و B انحلال ندارند.

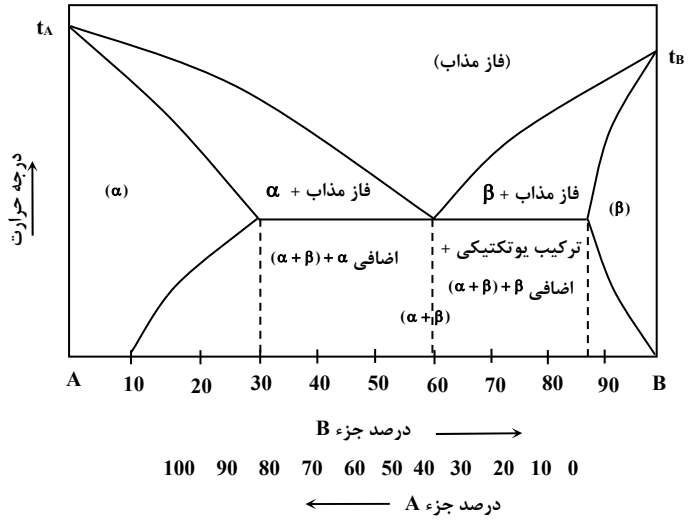
◆ ◆ ◆ ◆

در دیاگرام سرب ـ آنتیموان نقطه P در درجه حرارت حدود ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۳ درصد آنتیموان (۸۷ درصد سرب) قرار دارد. تمام آلیاژهایی که روی نمودار سمت چپ نقطه P و خط PK قرار دارند و شامل کمتر از ۱۳% عنصر Sb هستند، آلیاژ هیپویوتکتیکی سرب ـ آنتیموان هستند. این آلیاژها پس از انجماد دارای ساختمانی شامل ترکیب یوتکتیکی (Pb+Sb) به علاوه جزو اضافی سرب (Pb) هستند و هرچه از طرف چپ به خط PK نزدیک‌تر شویم، ترکیب یوتکتیکی زیاد و جزو اضافی Pb کمتر می‌گردد تا جایی که روی خط PK، ۱۰۰ درصد ترکیب یوتکتیکی داریم. روی نمودار، آلیاژهایی که در سمت راست خط PK قرار دارند، به آلیاژهای هایپریوتکتیکی سرب ـ آنتیموان معروف‌اند. ساختمان این آلیاژها پس از انجماد شامل

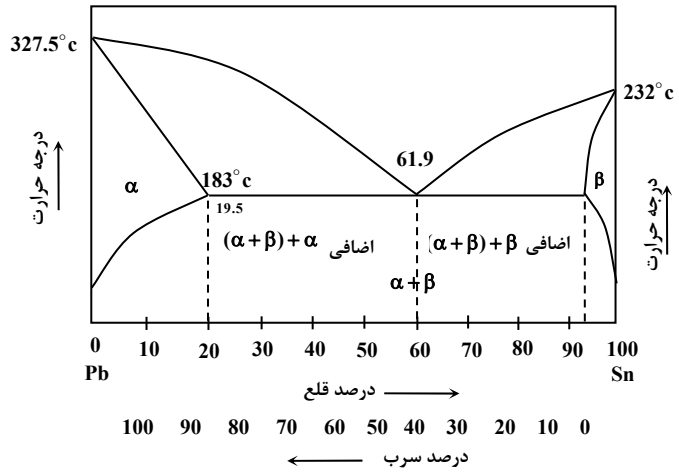
www.modaresanesharif.ac.ir

ترکیب یوتکتیکی (Pb+Sb) به علاوه ترکیب اضافی Sb می‌باشد و هرچه از طرف راست به خط PK نزدیک شویم، مقدار ترکیب یوتکتیکی (Pb + Sb) زیاد شده و در نتیجه جزء اضافی Sb کمتر می‌شود، به طوری که روی خط PK، ۱۰۰ درصد ترکیب یوتکتیکی (Pb + Sb) داریم.

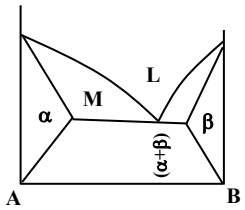
نمودار تعادل سیستم‌هایی که اجزای آن‌ها دارای قابلیت انحلال کامل در حالت مذاب و قابلیت انحلال محدودی در حالت جامد هستند و در آن‌ها قابلیت انحلال جامد با درجه حرارت کاهش می‌یابد، به صورت روبه‌رو ترسیم می‌گردد:



این مطلب در مورد سرب (Pb) و قلع (Sn) صادق است. کریستال‌های سرب می‌توانند ۱۹ درصد قلع را در درجه حرارت یوتکتیکی در خود حل کنند، ولی در $100^\circ C$ فقط ۴ درصد قلع می‌تواند در حالت جامد در سرب حل شود. همچنین کریستال‌های قلع در درجه حرارت یوتکتیکی می‌توانند ۲/۵درصد سرب را در خود حل کنند که در حرارت محیط، این مقدار به ۱ درصد می‌رسد.



مثال ۱۳: در دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی A و B، کدام مطلب صحیح است؟



۱) انحلال A در B بیشتر است.
۲) انحلال A در B در حرارت محیط بیشتر است.
۳) در ترکیب یوتکتیکی مقدار عنصر A بیشتر است.
۴) انحلال B در A در حرارت محیط بیشتر است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» با توجه به منحنی، منطقه تک فازی در انحلال A در B و در حرارت محیط بیش‌تر است.

نقطه ذوب یک فلز با اضافه کردن یک یا چند عنصر و ساختن آلیاژ تغییر می‌کند. هنگامی که با ذوب کردن نیکل و مس آن‌ها را درهم می‌ریزیم، نقطه ذوب کلیه آلیاژهایی که به وجود می‌آیند، حد واسط نقطه ذوب این دو عنصر خواهند بود. گرچه این مطلب به طور کامل منطقی است، ولی آیا این خصوصیت برای کلیه آلیاژهای دوتایی صادق است؟ خیر، به عنوان مثال زمانی که سرب و قلع را با هم ذوب می‌کنیم، نقطه ذوب آلیاژهایی که حاصل می‌شود از نقطه‌ی ذوب هر دو عنصر کمتر است. نقطه ذوب سرب $327/5^\circ C$ و نقطه ذوب قلع $232^\circ C$ است، در صورتی که نقطه ذوب آلیاژی که دارای ۲۶ درصد اتمی سرب (۳۸درصد وزنی) و ۷۴ درصد اتمی قلع (۶۲درصد وزنی) است، $183^\circ C$ می‌باشد (آلیاژهای بابیت یا لحیم).

در حالی که در منحنی آلومینیوم ـ آنتیموان، آلیاژ با ۵۰ درصد اتمی آلومینیوم و ۵۰درصد اتمی آنتیموان در درجه حرات $1065/5^\circ C$ذوب می‌شود که از درجه حرارت ذوب آلومینیوم $659/5^\circ C$ و درجه حرارت ذوب آنتیموان $630/5^\circ C$ بیشتر است.

www.modaresanesharif.ac.ir

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:

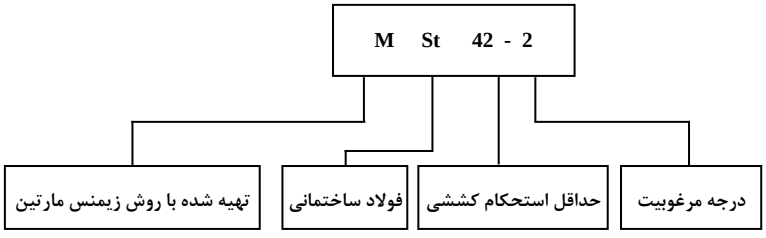
۱ـ علائمی که در بخش روش تولید به کار می‌روند: حروفی که در این بخش به کار می‌روند، مخفف نحوه ذوب، خصوصیات برجسته و علامت ریخته گری محصول عرضه شده می‌باشند. در جدول زیر مفهوم حروفی که در این بخش به کار می‌روند، برای انواع چدن‌ها نشان داده شده‌اند.

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.

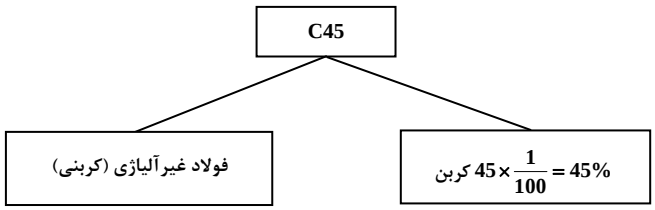
علامت اختصاری که برای فولادهای ساختمانی به کار می‌رود، با حروف St شروع شده و پس از آن عددی وجود دارد که معرف حداقل استحکام کششی فولاد مربوطه بر حسب واحد قدیمی $\frac{kg}{mm^2}$ می‌باشد که با ضرب آن در عدد ۹/۸۱ می‌توان استحکام را بر حسب واحد جدید $\frac{N}{mm^2}$ به دست آورد. پس از اعداد مربوط به استحکام، 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:



www.modaresanesharif.ac.ir

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.



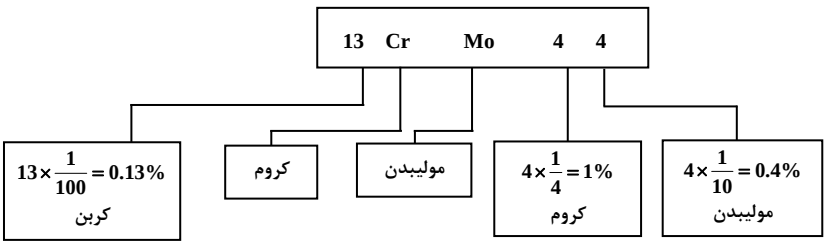
برای فولادهای نورد از علامت D استفاده می‌شود که با عددی در جلوی آن مشخص می‌شود که با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$، درصد کربن فولاد را نشان می‌دهد. مثلاً D۹ که $۹ \times \frac{۱}{۱۰۰} = ۰/۰۹$ درصد کربن دارد. فولادهای کم‌آلیاژ را بدون استفاده از علامت شیمیایی کربن (C) با عددی شروع می‌کنند که معرف ضریب مقدار درصد 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.

www.modaresanesharif.ac.ir

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 $\frac{kg}{mm^۲}$

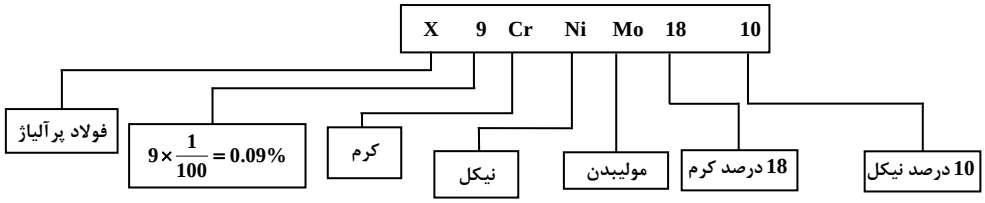
☑ **پاسخ:** گزینه «۴» عدد جلوی St عیناً مقدار استحکام کششی فولاد بر حسب $\frac{kg}{mm^۲}$ است.

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

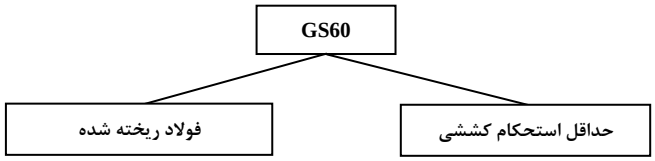
۱) Ck۴۰
۲) St۲۵
۳) C۲۵
۴) C۱۰۰W

☑ **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.

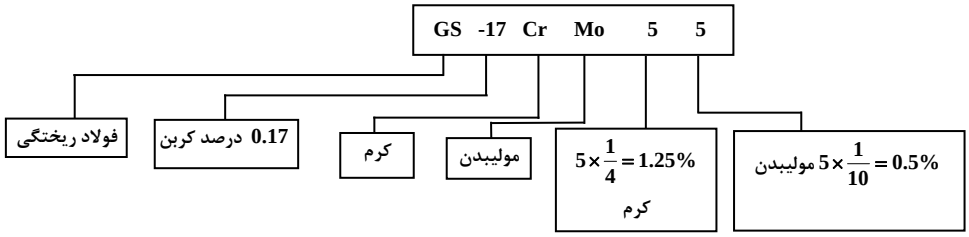
فولادهایی که با بیش از ۸ درصد از فلزات مختلف آلیاژ شده باشند، فولادهای پرآلیاژ نام دارند و در نرم‌بندی آن‌ها، حروف x آغازکننده‌ی علائم می‌باشند. عددی که پس از حرف x قرار می‌گیرد، معرف مقدار درصد کربن موجود در آن با توجه به ضرایب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بوده و پس از آن علائم شیمیایی سایر عناصر با ترتیبی که در 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.



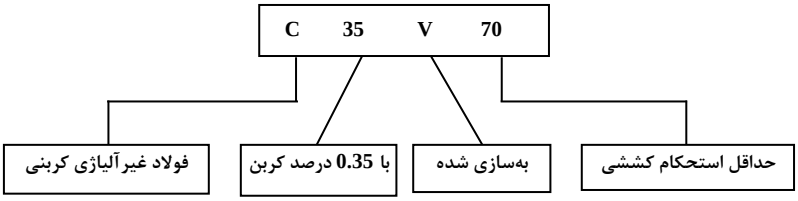
در فولادهای ریخته آلیاژی پس از حروف مشخصه (GS)، عددی وجود دارد که معرف درصد کربن با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بوده و پس از آن علائم شیمیایی سایر فلزات موجود در آن‌ها ذکر می‌گردد. اعدادی که بعد از علائم عناصر شیمیایی آلیاژی نوشته می‌شوند، معرف درصد عناصر موجود در فولاد ریختگی بوده که مقدار حقیقی آن‌ها را می‌توان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



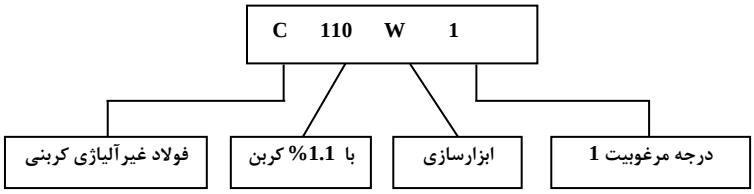
۳ـ علائمی که در بخش عملیات انجام گرفته در روی فولادها به کار می‌روند: در این بخش برای مشخص کردن نحوه‌ی عملیات حرارتی و نحوه تغییر فرم دادن و همچنین کیفیت سطح در ورق‌های ظریف، از حروف استفاده می‌شود.

www.modaresanesharif.ac.ir

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.

www.modaresanesharif.ac.ir

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.

www.modaresanesharif.ac.ir

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

۱) C۱۵ ۲) C۸۵ ۳) ۳۵CrNi۱۲ ۴) $C_{100}W$

☑ **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
۵۰WCrV۱۷۹	فولاد فنر با مقاومت زیاد در حالت گرم (تا $500^{\circ}C$)	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 $1900\frac{N}{mm^2}$	فنرهای زنگ‌نزن با استحکام کششی زیاد

مثال ۱۰: فولاد اتوماتیک دارای کدام استاندارد می‌تواند باشد؟

۱) $CK_{60}V$ ۲) St_{12-2} ۳) CK_{45} فسفر و گوگرددار ۴) C_{30} با ۰/۴درصد گوگرد

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

www.modaresanesharif.ac.ir

۷ـ فولادهای مخصوص

دامنه فولادهای مخصوص به قدری وسیع است که نمی‌توان به ذکر خصوصیات تمام آن‌ها پرداخت. در ادامه، این فولادها را به سه گروه اصلی تقسیم کرده و به ذکر مهم‌ترین آن‌ها می‌پردازیم.

الف) فولادهای دیرگداز (مقاوم در برابر حرارت و گداختگی)

استحکام این فولادها تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تخمین زده شده است و تا ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز مقاوم هستند. در مقابل گداختگی و سوختن فولادها، دو مطلب مهم مورد نظر است:

الف) مقاومت در مقابل تأثیر گازهایی مانند اکسیژن، اکسیدهای کربن، بخار آب و گازهای گوگرددار در درجه حرارت‌های بالا.

ب) حفظ خواص مکانیکی در درجه حرارت بالا.

این خصوصیات بیشتر مرهون کرم موجود در آن‌ها بوده و هر چه درجه حرارت کاری آن‌ها بیشتر باشد، بایستی مقدار کرم آلیاژی بیشتر شده تا از سوختن (درشت دانه شدن) فولاد جلوگیری شود.

از این فولادها برای تهیه ورق و لوله‌های تأسیسات دیگ‌های بخار، پره‌های توربین‌های گازی و بخاری، سوپاپ دود موتورهای احتراقی و غیره استفاده می‌شود. در جدول زیر نمونه‌هایی از این نوع فولادها را مشاهده می‌نمایید.

نمونه‌هایی از فولادهای نسوز

علامت مشخصه	خصوصیات	موارد استفاده
X۱۵CrMo۴	قابلیت جوشکاری خوب	لوله‌های بخار داغ
X۴۵CrNiW۱۵ ۱۳ X۴۵CrNiSi۱۹ ۱۰	مقاوم در برابر سایش و خوردگی	سوپاپ‌های موتورهای احتراقی
X۱۵CrNiSi۲۵ ۲۰	مقاوم در مقابل حرارت (تا ۱۲۰۰°C)	قطعات کوره‌های صنعتی، جعبه‌های عملیات حرارتی

ب) فولادهای مقاوم به خوردگی (زنگ‌نزن)

در این فولادها کرم یا کرم ـ نیکل نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. مقدار کرم موجود در آن‌ها نبایستی از ۱۲ درصد کمتر باشد. این فولادها در مقابل خوردگی، رطوبت هوا و اغلب اسیدها و بازها مقاوم بوده و برای تهیه ظروف و لوله‌های صنایع غذایی، شیمیایی، شیرینی‌پزی و غیره استفاده می‌شود. در فولادهای زنگ‌نزن که در تهیه ظروف و لوله‌های حاوی مواد غذایی استفاده می‌شوند، به اندازه ۰/۲ تا ۰/۴ درصد مس آلیاژ می‌کنند تا از تأثیر بوی بد فولاد روی مواد غذایی جلوگیری شود.

این فولادها را می‌توان از طریق براده‌برداری یا با روش بدون براده‌برداری تغییر فرم داده و به خوبی جوشکاری نمود. فولادهای زنگ‌نزن را می‌توان به وسیله پولیش کردن صیقل داد و به طور کامل پرداخت نمود. از این فولادها می‌توان X۳CrNi۱۸ ۱۰ و X۱۰CrMoTi۱۸ ۱۲ را نام برد.

۸ـ فولادهای غیرمغناطیسی

این فولادها دارای منگنز زیادی می‌باشند (X۵۰MnCr۱۸). فولادهای غیر مغناطیسی را می‌توان در حالت سرد به خوبی تغییر فرم داد و چنانچه تغییر فرم زیاد در آن‌ها لازم باشد، بایستی آن‌ها را پس از طی مراحلی تاباند. عمل تاباندن این فولادها به این ترتیب است که ابتدا تا ۱۰۰۰°C گرم کرده و سپس در آب خنک می‌کنند. این عمل باعث می‌شود که فولاد نرم و سمج گردد. فولادهای غیر مغناطیس در هر حال به سختی، قابل براده‌برداری می‌باشند. از این فولادها می‌توان X۸CrNi۱۲ ۱۲ را نام برد که فولادی است زنگ‌نزن، غیرمغناطیس، قابل کشش عمیق (در قالب‌های کششی) که به خوبی قابلیت پرداخت و صیقلی شدن دارد. از این فولاد برای تهیه قاب ساعت، محفظه قطب‌نما، کارد، چنگال و ظروف تزئینی استفاده می‌شود.

مثال ۱۱: فولادهای فنر شامل کدام استاندارد است؟

۱) ۳۵CSi۵ ۲) ۴۰Si۶ ۳) ۲۵Cr۴ ۴) ۴۰Ni۱۰

☑ **پاسخ :** گزینه «۲» فولادهای فنر شامل استاندارد ۴۰Si۶ است.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال ۱۲: فولاد با استاندارد (Din) و با علامت ۲ GS۱۷NiCr۴ چه نوع فولادی است؟

۱) ۱/۶ درصد کربن و ۱ درصد کرم دارد. ۲) فولاد ریختگی است.

۳) ۴ درصد کرم دارد. ۴) ۲ درصد کرم و ۴ درصد نیکل دارد.

☑ **پاسخ :** گزینه «۲» فولاد با استاندارد DIN و با علامت ۲ $GS۱۷NiCr_۴$ فولاد ریختگی است.

۹ـ فولادهای ورق

فولادهای ورق را در گروه‌های خیلی ظریف، سفید و همچنین ظریف، متوسط، خشن و ورق دیگ‌سازی تولید می‌کنند. ورق‌های خیلی ظریف و سفید را از فولادهای غیر آلیاژی نرم با ضخامت‌های کمتر از ۰/۵ mm تولید می‌کنند. چربی سطح خارجی این فولادها را پس از تولید برطرف می‌نمایند؛ به همین دلیل می‌توان روی آن‌ها به خوبی رنگ‌کاری و چاپ نمود. ورق‌های سفیدی که در ایران به نام حلبی معروفاند، دارای قشر نازکی از قلع می‌باشند. ورق‌های ظریف برای کارهایی مانند کشش عمیق و یا ایجاد نقش برجسته مناسب بوده که می‌توان سطح خارجی آن‌ها را به خوبی گالوانیزه یا رنگ نمود. درجه خوبی این ورق‌ها را بر حسب اعدادی از ۱۰ تا ۱۴ طبقه‌بندی کرده‌اند. به عنوان مثال علامت St۱۰ برای ورق‌های ظریف با درجه خوبی معمولی، St۱۲ برای ورق‌های ظریف با قابلیت کشش خوب، St۱۳ برای ورق‌های با قابلیت کشش عمیق و St۱۴ را برای ورق‌هایی که دارای قابلیت کشش خیلی خوبی هستند، انتخاب کرده‌اند. انواع ورق‌های ظریف در حالت‌های سرد و گرم شکننده نبوده و مقدار کربن آن‌ها از ۰/۱۵ـ۰/۱ درصد می‌باشد. این فولادها قابل تغییر شکل بوده و قابلیت جوش خوبی دارند. انواع ۰۳، ۰۴ و ۰۵ برای جوش نقطه‌ای و درزی مناسب هستند. ورق‌های متوسط و خشن را معمولاً از فولادهای ساختمانی معمولی و همچنین از فولادهای بهساخته و قابل سخت شدن سطحی تولید می‌کنند. مخازن و لوله‌های تحت فشاری را که بایستی قابلیت جوش خوبی داشته باشند، از فولادهای غیر آلیاژی ساخته و آن‌ها را با علائم مشخصه HI، HII، HIH و HIV نشان می‌دهند. هر چه اعداد به کار رفته در علامت اختصاری بزرگ‌تر باشد، مقدار درصد کربن و استحکام کششی بیشتر است. این ورق‌ها به نام ورق‌های دیگ‌سازی معروف‌اند.

ب) فولادهای ابزارسازی

در انتخاب فولادهای ابزارسازی، استحکام کششی و انبساط، زیاد مورد توجه نبوده، بلکه قابلیت برش و سختی مطرح می‌باشد. از این فولادها به منظور تغییر فرم قطعات به کمک براده‌برداری استفاده می‌شود که بر حسب درصد عناصر به فولادهای ابزارسازی غیرآلیاژی، کم‌آلیاژ و پرآلیاژ تقسیم می‌شوند.

مثال ۱۳: فولاد ورق دارای کدام مشخصه در استاندارد (DIN) است؟

۱) ساده کربنی C۶۰ ۲) ساده کربنی St۱۴ ۳) آلیاژی پر کربن ۴) $C_{۸۵}W$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» فولاد ساختمانی ساده کربنی با استاندارد St۱۴ فولاد ورق محسوب می‌شود.

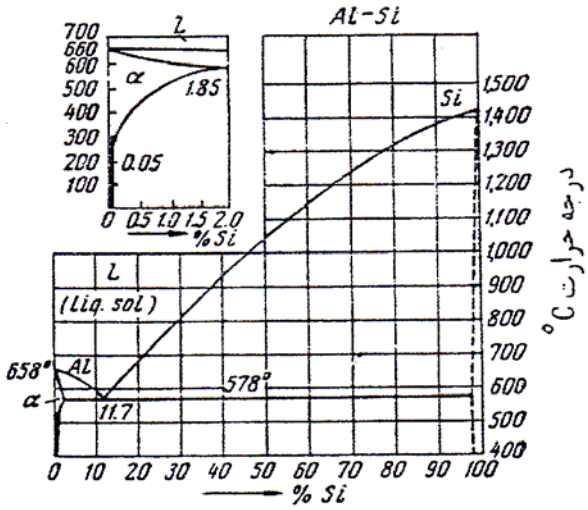
فولادهای ابزارسازی را بر حسب استفاده (درجه حرارت کاری) به فولادهای سرد و یا گرم‌کار و همچنین بر حسب مایع خنک کننده‌ای که در هنگام آبکاری آن‌ها به کار می‌رود، به فولادهای ابزارسازی آبی، روغنی و هوایی نیز تقسیم و درجه‌بندی می‌کنند. فولادهای ابزارسازی غیر آلیاژی و کم‌آلیاژی ۰/۵ تا ۱/۵ درصد و پرآلیاژها تا ۲/۲ درصد کربن دارند. تمام این فولادها حتی آن‌هایی که غیر آلیاژی هستند جزء فولادهای نجیب به حساب می‌آیند. زیرا درجه خلوص بالایی داشته و با نهایت دقت روی آن‌ها کار شده است. فولادهای سردکار دارای سماجت خوبی هستند. مقاومت آن‌ها در مقابل ضربه، فشار و ساییدگی زیاد می‌باشد. با این فولادها می‌توان قطعه‌کار را با یکی از روش‌های براده‌برداری و یا بدون براده‌برداری تغییر فرم داد. از این فولادها برای ساختن مته‌ها، رنده‌های تراشکاری و صفحه تراشی، تیغه فرزها، حدیده‌ها، قلاویزها، ابزارهای برش (تیغه‌های قیچی، سمبه و ماتریس‌ها) یا ابزارهای تغییر فرم (چکش و تیغه‌های دستگاه خم‌کن) استفاده می‌نمایند. فولادهای گرم‌کار در درجه حرارت‌های بالاتر دارای استحکام مکانیکی و دوام برندگی زیادی بوده و برای تهیه‌ی قالب‌های کوره‌کاری، ماتریس مخصوص تهیه نیمه ساخته‌ها با روش پرس، قیچی‌های گرم‌بر و قالب‌های ریخته‌گری تحت فشار به کار می‌روند. با این فولادها می‌توان قطعات فولادی، فلزات سبک و سنگین را در حالت گرم تغییر فرم داد.

www.modaresanesharif.ac.ir

آلیاژهای مهم آلومینیوم

مهم‌ترین آلیاژ آلومینیوم، آلیاژ سیلومین (آلیاژ آلومینیوم ـ سیلیسیم) می‌باشد. با افزایش سیلیسیم به آلومینیوم، آلیاژی با مخلوط مکانیکی به دست می‌آید به طوری که هرچه درصد عنصر سیلیسیم در آلومینیوم بیشتر شود، آلیاژ سخت‌تر و شکننده‌تر می‌شود. تقریباً تمام آلیاژهای آلومینیوم شامل سیلیسیم نیز می‌باشند. آلیاژ آلومینیوم ـ سیلیسیم در ساخت لوازم خانگی، در، پنجره، قطعات سیلندر، سرسیلندر، قطعات هواپیما و .... کاربرد دارد. دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی آلومینیوم ـ سیلیسیم با افزایش سیلیسیم تا ۱۲ درصد کاهش حرارت ذوب دارد، به طوری که با حدود ۱۲ درصد سیلیسیم در سیلومین، حرارت ذوب آلیاژ به ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

عنصر سیلیسیم، سختی و خواص ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم را افزایش می‌دهد. در حالی که مس، استحکام کشش آلیاژهای پایه آلومینیوم را بهبود می‌دهد.



نمودار تعادل Al- Si

مثال ۵: امروزه مهم‌ترین کاربرد آلیاژ سیلومین در صنعت کدام است؟

۱) تهیه پروفیل‌های مختلف ۲) ساخت پره‌های توربین ۳) تهیه لوازم خانگی ۴) تهیه سیلندر و سرسیلندر

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» بیشترین مورد استفاده سیلومین (آلیاژ آلومینیوم سیلیسیم $(Al-Si)$) در تهیه سیلندر و سرسلیندر می‌باشد.

مس و آلیاژهای آن

از قدیمی‌ترین فلزات کشف شده‌ی صنعتی، فلز مس می‌باشد که در صنایع مکانیک و بخصوص صنایع الکتریکی کاربرد فراوان دارد. جرم اتمی آن ۶۳/۵ و قطر اتمی‌اش $d=۲/۵۵۱۱A^{\circ}$ است، تغییر آلوتروپیکی ندارد و دارای ساختمان کریستالی FCC با ثابت شبکه‌ی $A=۳/۶۰۸۰A^{\circ}$ است. مس در میانه‌ی جدول مندلیف قرار دارد و حلال‌ترین فلز شناخته شده است. نقطه‌ی ذوب آن ۱۰۸۳ درجه سانتی‌گراد با چگالی $۸/۹۱\frac{gr}{cm^{۳}}$ و نقطه‌ی جوش ۲۵۷۰ درجه سانتی‌گراد است. این فلز قرمز رنگ بوده و پس از پرداخت، جلوه‌ای درخشان دارد. به سرعت اکسید می‌شود و اکسید فشرده‌ی آن (CuO) از بقیه‌ی لایه‌های زیرین محافظت می‌کند. مس به صورت خالص در طبیعت یافت نمی‌شود و آلیاژ طبیعی آن در قدیم به نام مفرغ بوده است.

هدایت الکتریکی مس بعد از نقره بیشترین بوده و نسبت به نقره هدایت آن ۹۵٪ و مقاومت الکتریکی آن $R=۱/۵۸\frac{\mu\Omega}{cm^{۲}}$ است. در صنایع الکتریکی از مس با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد استفاده می‌شود. مس و آلیاژهای آن در صنایع الکتریکی کاربرد فراوان دارد و تا قبل از کشف آلیاژهای آهنی، کاربرد مکانیکی آن نیز بالا بوده است. پس از وارد شدن قطعات آلومینیومی در صنعت، کاربرد آن کمتر شده است.

سختی مس حدود ۲۰ برینل و گرمای نهان گداز آن $۵۱\frac{cal}{gr}$ است. این مقدار گرمایی است که صرف از بین رفتن ساختمان کریستالی FCC مس جامد می‌شود.

عوامل زیر باعث کاربرد بیشتر مس در صنعت گردیده است:

۱) هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار خوب ۲) مقاومت نسبت به محیط‌های خورنده و خوردگی

۳) مقاومت به فرسودگی ۴) رنگ‌های زیبا و دلپذیر این فلز

۵) قابلیت ارتعاش بالا ۶) قطعات با مقاومت کششی و فشاری بالا

با این تفاسیر، مس و آلیاژهای آن در تهیه‌ی قطعات صنعتی از جمله ظروف آشپزخانه، وسایل صوتی، شیرآب، پمپ، کابل، سیم الکتریکی، پروانه کشتی و وسایل مقاوم در برابر خوردگی کاربرد دارند.

فرآیند استخراج فلز مس

میزان فراوانی مس در پوسته‌ی زمین حدود چند هزارم درصد است. فلزی است که به صورت خالص در طبیعت وجود دارد؛ ولی امروزه با درصد بسیار کمتر آن نیز قابل استخراج است در ایران این مقدار به حدود ۰/۷۵ خلوص مس در سنگ معدن می‌رسد. سنگ‌های معدن قابل استخراج مس به صورت‌های اکسید یا سولفور در جدول زیر مشخص شده است.

www.modaresanesharif.ac.ir

نام ترکیب	نوع سنگ	فرمول شیمیایی	درصد مس موجود
اکسید مس	سنگ مس قرمز	Cu_2O	۸۸
سولفید مس	سنگ مس رنگین	Cu_3FeS_3	۵۸
	سنگ مس درخشان	Cu_2S	۸۰
	سنگ مس شنی	$CuFeS_2$	۳۵

مثال ۶: مهم‌ترین و قدیمی‌ترین آلیاژ مس از نظر صنعتی کدام است؟

۱) برنج ۲) ورشو ۳) آلومینیوم ـ مس ۴) مفرغ

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» اولین آلیاژی که از مس در تاریخ ثبت شد، «مفرغ» بوده است.

سنگ معدن مس را پس از استخراج، خرد و پودر کرده و سپس به روش فلوتاسیون تغلیظ می‌کنند تا عیار آن به حدود ۲۰ درصد برسد. پس از تغلیظ، آن را تصفیه می‌نمایند (پودر آن را حرارت می‌دهند تا ریزتر شده و به صورت آجر متخلخل درآید) و سپس در کوره‌ی روربر یا شعله‌ای حرارت می‌دهند تا ترکیبی از مس و ناخالصی‌هایی نظیر گوگرد، طلا، آهن، روی، نیکل، قلع و... به دست آید (حدود ۴۵٪ مس). به این ترکیب، مس مات می‌گویند. مس مات را درکوره‌های کانورتر (Converter) حرارت می‌دهند تا با اکسیژن ترکیب شده و آهن و گوگرد آن اکسید و از محیط عمل خارج شوند. به این ترتیب مس جوش‌دار (متخلخل) بدست می‌آید که مس بلیستر نام دارد و حدود ۷۰ درصد مس دارد، سپس آن را در کانورتر دیگری ذوب و درجه‌ی خلوص آن را به ۹۷ درصد می‌رسانند که به آن مس خام می‌گویند. این مس را به صورت صفحات (تسمه‌های) مختلف در آورده و سپس شمش می‌کنند و در صنایع الکتریکی یا ریخته‌گری یا .... به کار می‌برند. ناخالصی‌های موجود درمس عبارتند است از: آنتیموان، آرسنیک، آهن، سرب، نقره، گوگرد، کادمیم، قلع و....

آلیاژهای مهم مس

آلیاژهای مهم مس از قدیم کاربرد داشته‌اند؛ به طوری که آلیاژ مفرغ که آلیاژ طبیعی مس و قلع است، به صورت طبیعی وجود داشته است.

مهم‌ترین آلیاژهای مس، برنج‌ها (Brasses) هستند که آلیاژهای مس و روی بوده و برنزها (Bronze) که آلیاژهای مس و قلع می‌باشند. همچنین آلیاژهای مس ـ سرب، مس ـ آلومینیوم هستند.

خواص عمومی آلیاژهای مس

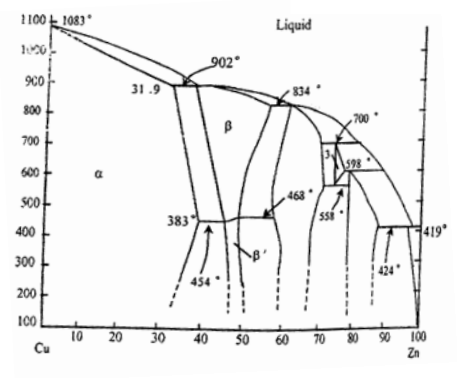
به طور کلی آلیاژهای مس استقامت و سختی بهتری نسبت به مس خالص دارند. خواص مکانیکی آلیاژهای مس را با عملیات حرارتی یا سرد کاری، بهبود می‌بخشند. قابلیت ماشینکاری آلیاژهای مس نیز بهتر از مس خالص است و همچنین مقاومت به خوردگی آلیاژهای مس نسبت به مس تجارتی بسیار بهتر است. الاستیسیته‌ی آلیاژهای مس از مس تجارتی بسیار بیشتر است؛ به نحوی که مس تجارتی خاصیت الاستیسیته و ارتجاعی ندارد.

آلیاژهای مس و روی (برنج ــ Brasses)

یکی از مهم‌ترین آلیاژهای پایه‌ی مس و روی، برنج است که در بین آلیاژهای فلزی سنگین کاربرد فراوانی دارد. رنگ این آلیاژ متغیر است که برحسب افزایش درصد روی در مس، رنگ آن در نهایت به زرد روشن و با کاهش روی در برنج، رنگ آن به زرد تیره، و در کمترین اندازه‌ی موجودیت روی در آن، (۵ تا ۱۰) به قرمز صورتی می‌گراید. با افزایش درصد روی در آلیاژ برنج، استحکام و قابلیت ماشین‌کاری آن افزایش یافته و در مقابل قابلیت شکل‌پذیری آن کاهش می‌یابد. از روی تغییر رنگ آن از زرد به قرمز، می‌توان درصد روی موجود در آلیاژ برنج را تخمین زد. آلیاژ با حدود (۵ تا ۱۰) درصد روی و ۵ درصد سرب و ۵ درصد قلع قابلیت ماشین‌کاری خوبی دارد و در ساخت پمپ آب و کاربراتور کاربرد دارد. این آلیاژ به آلیاژ توپ معروف است و از آن در تهیه‌ی پوکه‌ی فشنگ نیز استفاده می‌شود. آلیاژهای ریختگی مسی با علامت G در ابتدای آن نمایش داده می‌شود ($G-Cu-Zn۳۵$) و آلیاژهای ریختگی در قالب‌های تحت فشار دایکست را به صورت GD نمایش می‌دهند ($GD-CuZn۳۸Mg$).

آلیاژهای با قابلیت کار مکانیکی از برنج در صنعت کاربرد فراوان دارند. این آلیاژها را پس از اینکه به صورت چهارگوش، تسمه یا غیره ریخته می‌شوند، به وسیله‌ی روش‌های اکستروژن (فشارکاری و کشیدن)، نورد، فورجینگ (کوره‌کاری) و غیره به شکل مورد نظر در می‌آورند. این آلیاژها پس از افزایش مقدار معینی سرب به آن‌ها، قابلیت ماشین‌کاری خوبی پیدا می‌کنند که به آن‌ها برنج‌های اتومات نیز گفته می‌شود. آلیاژهای برنج با حدود ۱۸درصد روی دارای خواص ماشین‌کاری عالی، استحکام خوب و مقاومت به خوردگی زیاد می‌باشد. برنج با حدود ۱۵ درصد روی، در ساخت لوله‌های آب گرم کاربرد دارد که دارای مقاومت به خوردگی خوبی می‌باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir



مفرغ آلیاژی است که از مس، روی و قلع تشکیل می‌شود. قلع موجود در این آلیاژ، مقاومت به خوردگی را افزایش می‌دهد. دیاگرام تعادلی آلیاژهای مس و روی به صورت زیر است. به طوری که مشاهده می‌شود، آلیاژ با حدود ۲۸ درصد روی در مس تک فاز بوده و ایزومورف است. با افزایش روی در مس بیش از مقدار ۳۸ فاز β که فاز ترکیبی است، پدید می‌آید. در این صورت آلیاژ دو فازی شده و سخت‌تر می‌گردد. حرارت ذوب روی ۴۱۹ درجه سانتی‌گراد است.

فازهای تشکیل شده‌ی ترکیبی، مثل $CuZn$، Cu_5Zn_8 و یا Cu_2ZnSn_4، فازهای سخت‌کننده‌ی آلیاژ می‌باشند که به فاز میانی نیز معروف هستند. با کاهش درصد روی در برنج، قابلیت ماشین‌کاری آلیاژ نیز کاهش می‌یابد و برعکس. برخی از کاربردهای برنج‌های مختلف به شرح زیر است:

سرپیچ لامپ‌ها $CuZn4,Pb3$؛ مصرف در شیرها $G-CuZn35$؛ قفسه‌ی بلبرینگ‌ها و رولربرینگ‌ها $CuZn4,MnPb$؛ لوله‌ی رادیاتور اتومبیل $CuZn39Sn$

پس از انجام کار سرد روی قطعات برنجی، سختی و استحکام آنها افزایش می‌یابد، که پس از عملیات حرارتی و تاباندن تا حرارت ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد آن را بازگشت داده و خواص مورد نظر را به حالت اولیه بر می‌گرداند. آلیاژ سوپاپ با ۸۵ درصد و ۵ درصد از هر یک از عناصر روی، قلع و سرب در تهیه‌ی آلیاژ سوپاپ استفاده می‌شود. یاتاقان‌های برنجی نیز از جمله‌ی این آلیاژها است که تا ۴۳ درصد روی دارد.

رنگ انواع برنج‌ها با توجه به درصد روی در مس دارای اهمیت است:

آلیاژ برنج با حدود ۹۰ درصد مس به رنگ زرد تیره و طلایی سیاه

آلیاژ برنج با حدود ۸۵ درصد مس به رنگ سرخ مسی

آلیاژ برنج با حدود ۶۵ درصد مس به رنگ زرد روشن

آلیاژ برنج با حدود ۶۰ درصد مس به رنگ زرد متمایل به سفید

تذکر۱: آلیاژهای مس ـ روی (برنج) معمولاً بیشتر از ۳۸ درصد روی ندارند.

تذکر۲: ناخالصی‌ها و تشکیل ترکیبات شیمیایی و فاز دوم در آلیاژ برنج به علت تشکیل فازهای کمپلکس و نیز تشکیل پدیده‌ی جدایش شدیداً باعث سختی و شکنندگی آلیاژ می‌شود.

مثال ۷: آلیاژهای مس با توجه به درصد روی و افزایش آن به رنگ ..... تبدیل می‌شود.

۱) روشن‌تر و زرد ۲) روشن‌تر و قرمز ۳) قرمز ـ سیاه ۴) تیره ـ طلایی

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» با افزایش درصد روی در آلیاژ برنج، رنگ آلیاژ روشن‌تر و به زرد متمایل به سفید تبدیل می‌گردد. با افزایش درصد روی به آلیاژ، فلز بدست آمده سخت‌تر شده که در ساخت چرخ‌دنده برنجی از آنها استفاده می‌شود. با کاهش درصد روی، معمولاً آلیاژی نرم‌تر بدست می‌آید.

◆ ◆ ◆ ◆

برخی دیگر از کاربردهای انواع برنج به شرح زیر است:

۱) برنج خوش‌تراش دارای ۶۱ درصد مس و ۳۵ درصد روی، حدود ۳ درصد سرب است و قابلیت ماشین‌کاری عالی دارد.

۲) برنج با قابلیت کوره‌کاری (Forging) دارای حدود ۶۰ درصد مس، ۲۸ درصد روی و ۲ درصد سرب است که خواص گرم‌کاری بهتری تا حرارت دادن به منطقه‌ی β دارد.

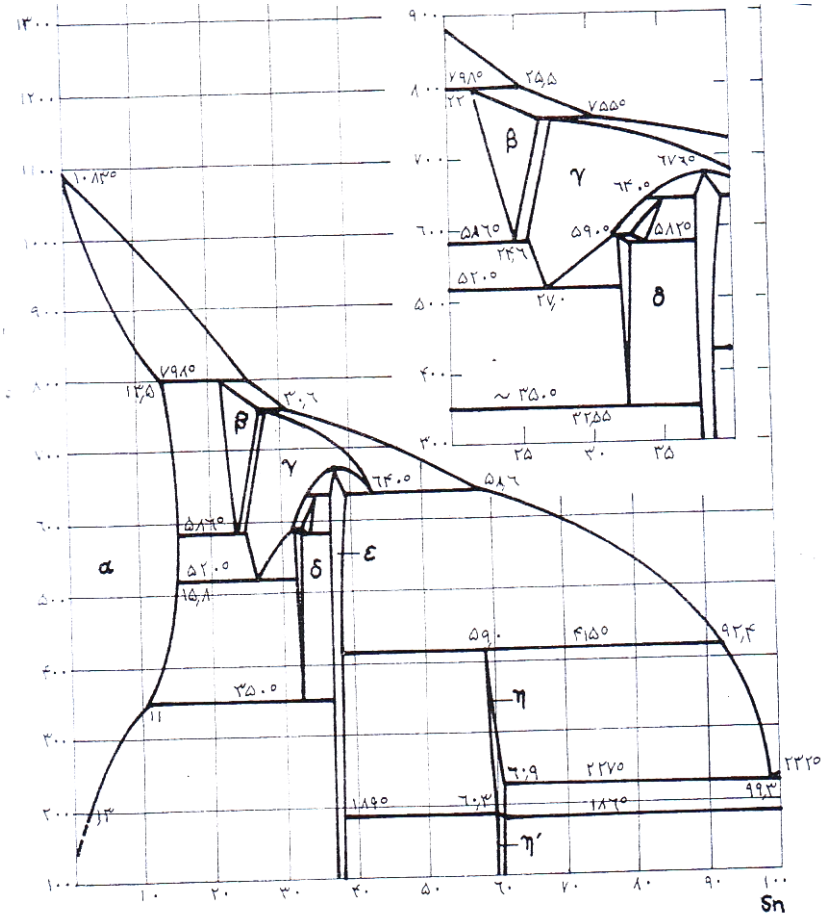
۳) برنز منگنزدار با ۵۸/۵ درصد مس، ۳۵ درصد روی، ۱/۴ درصد آهن، حدود ۱ درصد قلع و ۱ درصد منگنز است. منگنز مقاومت به خوردگی خوبی در آب نمک داشته و در ساخت پره‌های کشتی کاربرد دارد. مقاومت به سایش عالی این آلیاژ سبب شده است تا از آن‌ها در تهیه‌ی دیسک کلاچ، آلیاژهای قابل اکستروژن، میله‌های پمپ، آلیاژهای فایل کوره کاری، سوپاپ‌ها و مفتول‌های جوشکاری استفاده شود.

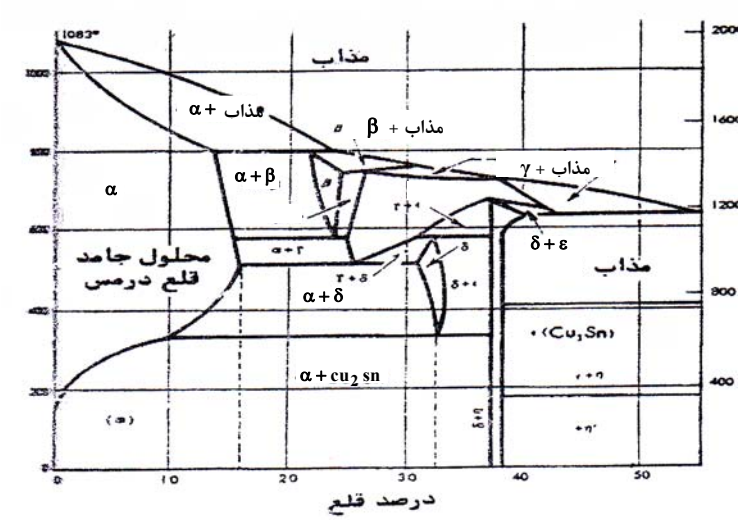
آلیاژهای مس ـ قلع (Bronze)

آلیاژهای مس ـ قلع را برنز می‌نامند. قلع باعث سختی در مس می‌شود و تأثیر آن در افزایش مقاومت به سایش، بیشتر از روی است. افزایش تا ۱۶ درصد قلع به مس دارای ساختمان FCC (α) است و این ترکیب مقاومت به خوردگی را زیاد می‌کند. آلیاژهای مس ـ قلع قابلیت سرد کاری داشته و بعد از سرد کاری قابلیت عملیات حرارتی (تابکاری) را نیز دارند.

www.modaresanesharif.ac.ir

کاربرد آلیاژهای مس ـ قلع یا برنزها گوناگون است. آلیاژهای برنز شامل ۸ درصد قلع برای ورقه‌ها و سکه‌ها است که قابلیت سرد کاری نیز دارد.
آلیاژهای برنز شامل ۸ تا ۱۲ درصد قلع، برای تولید یاتاقان‌ها، قطعات مختلف ماشین‌آلات، چرخ‌دنده ها و لوازم قابل استفاده در آب کاربرد فراوانی دارند.
آلیاژهای برنز شامل ۲۰ درصد قلع، برای ساخت یاتاقان‌ها کاربرد دارد.
آلیاژهای با حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد قلع، بسیار سخت بوده و در مواردی به کار می‌رود که مقاومت به سایش و سختی زیادی لازم است این آلیاژ ضربه‌پذیر نیست.
آلیاژهای طبیعی مس ـ قلع که شامل روی نیز می‌باشد، مفرغ نامیده می‌شود. دیاگرام تعادلی آلیاژهای دوتایی مس و قلع برای استفاده در آلیاژسازی، به شرح مقابل است.





نمودار اساسی مس ـ قلع

www.modaresanesharif.ac.ir

مدرسان شریف

فصل نهم

« مواد غیرفلزی »

دیرگدازها و مواد سرامیکی

تمام صنایعی که در مراحل مختلف فرآیند عملیاتی خود با درجه حرارت‌های بالا سروکار دارند، به مواد دیرگداز (نسوز) نیاز دارند. در کوره‌های تأسیساتی، صنایع متالورژیکی، صنایع شیشه و سرامیک، صنایع هسته‌ای و تولید انرژی و صنایع شیمیایی، مواد دیرگداز نقش اساسی دارند. مواد دیرگداز بایستی علاوه بر تحمل درجه حرارت‌های بالا، بتوانند تحمل شوک حرارتی، مقاومت به سایش، ضربات مکانیکی، خزش و . . . را به خوبی داشته باشند. طبق تعریف، مواد دیرگداز (نسوز) به موادی گفته می‌شود که حرارت خمیری (زینتر Sintering) آن‌ها از حدود $1500^{\circ}C$ بالاتر باشد.

حرارت زینتر مواد سرامیکی را به وسیله‌ی روش زِگِر که مخروط‌هایی از مواد دیرگداز مورد آزمایش با مشخصات معین هستند و به صورت مخروط با قطر قاعده و ارتفاعات معین تهیه می‌شوند، اندازه‌گیری می‌کنند. درجه حرارت زینتر برای مخروط شماره ۱۲ زگر برابر با ۱۳۷۵ و برای مخروط شماره ۴۲ برابر با ۱۹۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در درجه حرارت زینتر، نوک مخروط سرامیکی در اثر حرارت نرم و خم می‌شود. نقش مواد دیرگداز، حفاظت از محیط‌هایی است که در آن‌ها واکنش‌ها و یا عملیاتی در درجه حرارت‌های بالا انجام می‌گیرد. این واکنش‌ها، فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی می‌باشند. خواص مهم دیرگدازها عبارتند از: دیرگدازی، مقاومت در برابر محیط‌های مختلف کاری، پایداری در برابر تغییرات ناگهانی درجه حرارت (شوک حرارتی)، مقاومت در برابر فشار در دمای محیط و در دمای بالا، عدم تغییرات حجم در درجه حرارت‌های مختلف، عدم انبساط و انقباض در برابر تغییرات درجه حرارت، قابلیت هدایت حرارتی، مقاومت در برابر ضربه و خزش و داشتن تخلخل می‌باشد.

خزش، عبارت است از تغییر شکل جسم به مرور زمان در درجه حرارت‌های بالا و تحت تأثیر تنش به طوری که در درجه حرارت معمولی و در شرایط تنشی مشابه، تغییر طول در نمونه ایجاد نشود.

مواد سرامیکی از جمله دیرگدازها که جزئی از سرامیک‌ها هستند، در برابر فشار تحمل بیشتری دارند تا در برابر کشش. انواع مواد سرامیکی نسوز، از سه جنبه تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ از نظر شیمیایی (اسیدی، بازی، خنثی)

۲ـ روش تولید (پرس خشک) اکستروژن (به شکل گل)، ذوب و انجماد (ریخته‌گری)، ریخته‌گری دوغ آبی (قالب گچی)

۳ـ دیرگدازی: درجه حرارت پایین (زگر ۲۸ ـ ۱۹) (Low duty)

درجه حرارت متوسط (زگر ۳۰ ـ ۲۸) (Intermediate duty)

درجه حرارت بالا (زگر ۳۲ ـ ۳۰)(High duty)

درجه حرارت فوق بالا (زگر ۳۳ به بالا) (Super duty)

نسوزهای اسیدی عبارتند از: زیرکونیایی (ZrO_2)، زیرکونی (Zr)، سیلیکاتی، شاموتی، کائولینی، خاک نسوز با آلومینای بالا، سیلیمانیتی و مولایتی.

نسوزهای قلیایی عبارتند از: منیزیتی (MgO)، کرمیتی (Cr_2O_3)، کرم منیزیتی (MgO و Cr_2O_3)، پریگلاس، دولومیتی و فورستریتی

نسوزهای خنثی عبارتند از: بوکسیتی (SiO_2 و Al_2O_3)، آلومینایی (Al_2O_3)، سیلیکون کاربیدی (SiC)، کرمیتی (Cr_2O_3) و کرم ـ آلومینایی (Cr_2O_3 ـ Al_2O_3).

www.modaresanesharif.ac.ir

مواد دیرگداز معمولاً از اکسیدهای با نقطه ذوب بالا تشکیل شده‌اند که تعدادی از آن‌ها در زیر مشخص شده است.

نقطه‌ی ذوب	نام اکسید	$^{\circ}C$ نقطه‌ی ذوب	نام اکسید
۱۷۲۰	SiO_2	۲۸۰۰	MgO
۲۰۵۰	Al_2O_3	۲۲۶۵	Cr_2O_3
۲۵۷۰	CaO	۲۷۵۰	ZrO_2

اغلب جرم‌های کوبیدنی و آجرهای صنعتی نسوز را سیلیس تشکیل می‌دهد. مواد نسوز سیلیسی خالص از SiO_2 خالص است. ولی در صنعت، جرم‌های کوبیدنی (خاک‌های نسوز) از ترکیب SiO_2 و Al_2O_3 تشکیل شده‌اند. بهترین ترکیب سیلیس (SiO_2) برای تشکیل خاک نسوز استفاده از نوع کوارتز (SiO_2) می‌باشد. چون خاک دیرگداز سیلیسی در برابر اکسیدهای آهن و کربن مقاومت خوبی دارد، لذا در ذوب مواد چدنی ساده از این جرم دیرگداز استفاده می‌شود.

مزایای آجرهای سیلیسی عبارتند از:

۱) ارزانی مواد اولیه

۲) تحمل فشار نسبتاً بالا در دمای بالا (تا ۵۰ PSI در دمای ۱۷۳۰ درجه سانتی‌گراد)

۳) مقاومت خوب در برابر اکسیدهای آهن و اکسید کلسیم،

۴) انقباض کم در دمای بالا برای سیلیس از نوع کوارتز

۵) مقاومت به سایش خوب

مقاومت کم در برابر شوک حرارتی در زیر ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و همچنین مقاومت کم در برابر سرباره‌های بازی و قلیایی، از معایب جرم‌های کوبیدنی و آجرهای سیلیسی است. ترکیبات اصلی آجرهای سیلیسی را SiO_2 تشکیل می‌دهد. خود سیلیس، ۴ آلوتروپی دارد که در جدول زیر مشخص شده است.

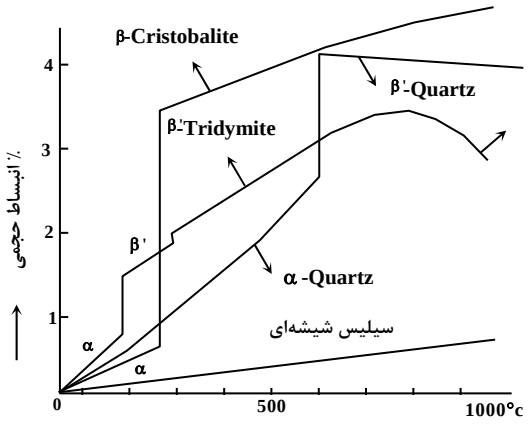
شکل‌های مختلف سیلیس:

۱ـ سیلیس بی‌شکل یا سیلیس شیشه با وزن مخصوص $2/2\ g/cm^3$

۲ـ کوارتز β,α (quartz) با وزن مخصوص $2/12\ g/cm^3$

۳ـ تریدیمیت (γ,β,α) (tridymite)با وزن مخصوص $2/27\ g/cm^3$

۴ـ کریستوبالیت (β,α) (crystobalite) با وزن مخصوص $2/35\ g/cm^3$



(سیلیس شیشه و کوارتز در طبیعت فراوان بوده در حالی که تری‌دیمیت و کریستوبالیت کمیاب است. این خاصیت چندگانه کریستالی سیلیس را Polymorphism می‌گویند که در فرآیندهای زیر تحولات و تغییرات فیزیکی آن نشان داده شده است که در واقع آلوتروپی‌های سیلیس (SiO_2) به حساب می‌آیند.

هر کدام از اشکال آلوتروپی دارای دو تغییر شکل کریستالی (آلوتروپی) به نام β,α است. در دیاگرام بالا تغییر β,α در درجه حرارتهای مختلف نمایش داده شده است.

$$\text{مذاب} \rightleftarrows \text{کریستوبالیت}\ 1728^{\circ}C\ \alpha \rightleftarrows \text{تریدیمیت}\ 1470^{\circ}C\ \alpha \xrightarrow[870^{\circ}C]{} \text{کوارتز}\ \beta \xrightarrow[537^{\circ}C]{} \text{کوارتز}\ \alpha$$

$$\text{تریدیمیت}\ \gamma \xrightarrow[163^{\circ}C]{} \text{تریدیمیت}\ \beta \xrightarrow[117^{\circ}C]{} \text{تریدیمیت}\ \alpha$$

$$\text{کریستوبالیت}\ \beta \xrightarrow[(200-270)^{\circ}C]{} \text{کریستوبالیت}\ \alpha$$

در جرم‌های کوبیدنی و آجرهای سیلیسی مقدار کمی هم آهک به کار می‌رود.

www.modaresanesharif.ac.ir

نقش آهک در آجرها و جرم‌های کوبیدنی سیلیسی

۱ـ آهک حرارت زینتر (خمیری شدن) ماسه سیلیسی را پایین آورده و سبب چسبندگی دانه‌های دیرگداز سیلیسی و در نتیجه شیشه‌ای شدن آن می‌شود. مقدار آهک (CaO) لازم، حدود ۲/۵ درصد است.

۲ـ آهک، تبدیل کوارتز به تریدیمیت را آسان می‌نماید.

امروزه آجرهای سیلیسی بیشتر در تولید شیشه مورد استفاده بوده و در کوره‌های ذوب شیشه به کار می‌روند. آجرهای با حدود ۹۰ درصد سیلیس و بقیه خاک رس، برای سقف‌نسوز کوره‌های فولادسازی به خصوص از نوع قوسی و القایی استفاده می‌شوند، ولی برای بدنه کوره‌های قوسی و کوره‌های فولادسازی مثل اِل. دی (L . D) از آجرهای آلومینایی و منیزیتی استفاده می‌شود. در کوره‌های ذوب مس نیز از آجرهای قلیایی استفاده می‌شود. در ژنراتورها و سقف کوره‌های عملیات حرارتی نیز از آجرهای سیلیسی استفاده می‌شود.

نکته ۱: خاک رس از سیلیکات‌های فلزات مختلف مثل آهن، کلسیم، سدیم، آلومینیوم و . . . تهیه می‌شود.

نکته ۲: آجرهای سیلیسی در مقابل تغییرات درجه حرارت حساس می‌باشند و در موقع سرد کردن با کاهش دما و تغییر فازی که با کاهش شدید حجم همراه است، مواجه می‌شوند.

مثال ۱: کدام دسته جرم‌های کوبیدنی کوره‌ها بعنوان مواد دیرگداز، قلیایی محسوب می‌شوند؟

۱) Al_2O_3 ۲) $MgCo_3$ ۳) $FeO.SiO_2$ ۴) $Fe_2O_3.SiO_2$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» چون ترکیب کربنات کلسیم عامل قلیایی (منیزیم) دارد؛ پس جرم کوبیدنی قلیایی را تشکیل می‌دهد و سایر گزینه‌ها یا خنثی هستند یا اسیدی می‌باشند.

دیرگداز (نسوز)های آلومینوسیلیکاتی

ترکیب این نوع آجرها و جرم‌های کوبیدنی از سیلیس، آلومینا و اکسید آهن (خاک سرخ) است که بر حسب افزایش درصد آلومینا و کاهش درصد اکسید آهن، مرغوبیت آن افزایش می‌یابد. این آجرها و جرم‌ها معمولاً دارای حدود (۶۵ درصد SiO_2)، (۳۰ درصد Al_2O_3) و حدود ۵ درصد ناخالصی است که بیشتر آنها از اکسید آهن (Fe_2O_3 یا خاک سرخ) تشکیل شده است.

جرم‌های کوبیدنی یا آجرهای شاموتی حدود ۲۵ تا ۴۵ درصد آلومینا (Al_2O_3) دارند که بقیه آن سیلیس (SiO_2) و اکسید آهن (Fe_2O_3) است، به طوری که درصد سیلیس در ترکیب بیشترین مقدار است و با کاهش درصد اکسید آهن، مرغوبیت خاک شاموتی افزایش می‌یابد و این در صورتی است که درصد اکسید آهن از حدود ۱ درصد کمتر شود.

جرم‌های کوبیدنی سیلیمانیتی دارای(۶۵ تا ۴۵) درصد Al_2O_3

جرم‌های کوبیدنی مولایتی ($3Al_2O_3, 2SiO_2$) حدود ۶۵ تا ۷۵ درصد Al_2O_3 (مولایت در طبیعت کمیاب است.)

جرم‌های کوبیدنی بوکسیتی ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) حدود ۷۵ تا ۹۰ درصد Al_2O_3

جرم‌های کوبیدنی کوروندومی (Al_2O_3) حدود (۹۰ تا ۱۰۰) درصد Al_2O_3

لازم به یادآوری است که با کاهش آلومینا به کمتر از ۱۵ درصد به دلیل به وجود آمدن ترکیب یوتکتیکی در جرم کوبیدنی در هنگام پخت، حرارت ذوب دیرگداز شدیداً کاهش یافته و به حدود ۱۵۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

جرم‌ها (آجرها)ی دیرگداز قلیایی

جرم‌های کوبیدنی دولومیتی

جرم‌های کوبیدنی و آجرهای دولومیتی از ترکیب $CaCO_3$ و $MgCO_3$ تشکیل شده که با تکمیل (حرارت دادن) در ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، مخلوط CaO و MgO تشکیل می‌شود. اگر حرارت دادن سریع متوقف شود، ترکیب حاصل جذب آب شده و تخلخل آن در اثر خشک شدن بعدی زیاد می‌شود؛ لذا بایستی مخلوط تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شود و بدین ترتیب تخلخل آن تا کمتر از ۱۵ درصد کاهش می‌یابد که قابل انبار شدن است.

برای تهیه آجرها، جرم‌های کوبیدنی آن‌ها را با ۴ درصد آب مخلوط می‌کنند، سپس در قالب‌های آجر ریخته و در حرارت حدود ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت فشار حدود ۱۳۰۰۰ Psi قرار می‌دهند که به طور کامل پخته و مستحکم می‌شود. به دلیل احتمال ترک، پخت آن‌ها در کوره‌های تونلی انجام می‌شود. آجرهای منیزیتی (منگنزیایی MgO) دارای نقطه‌ی ذوب ۲۸۰۰ درجه سانتی‌گراد هستند. برای تهیه جرم کوبیدنی نسوز

www.modaresanesharif.ac.ir

(دیرگداز) منیزیتی و آجر نسوز از ترکیب ۸۰ درصد MgO و حدود ۶ درصد Fe_2O_3 و حدود ۷ درصد Al_2O_3 و حدود ۴ درصد CaO و SiO_2 استفاده می‌شود و در کوره‌های ذوب فولاد پرکربن و آلیاژی نظیر Kaldo ،L . D و یا کوره‌های قوسی و القایی از آن‌ها استفاده می‌شود. برای تهیه آجرهای با خطر ترک کمتر بایستی منیزیت به کار رفته قبلاً خوب پخته شده باشد و ذرات جرم خیلی ریز نباشد و در درجه حرارت خشک کن حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد به طور ملایم نگهداری شود و دما خیلی بالا نرود و زمان نگهداری جهت خشک کردن افزایش یابد.

دیرگدازهای کرمیتی

معمولاً به تمام سنگ معدن‌های کرم (Cr_2O_3)، کرمیت گفته می‌شود (FeO، Cr_2O_3. کرم ـ منیزیتی MgO Cr_2O_3) که در آن‌ها مقدار اکسید کرم یا کرمیت (Cr_2O_3) بیش از ۵۰ درصد جرم کوبیدنی را تشکیل می‌دهد و نیز دیرگدازهای منیزیت ـ کرمیتی ($MgO.Cr_2O_3$) که در آن بیش از ۵۰ درصد از جرم، منیزیت می‌باشد. نسوزهای (دیرگدازها) کرمیتی خنثی می‌باشند و بیشتر برای جدا کردن دیرگدازهای آلومینا ـ سیلیکاتی اسیدی از دیرگدازهای قلیایی استفاده می‌شود که امروزه به علت کاهش حجم شدید پس از پخت یا هنگام پخت استفاده زیادی ندارد. امروزه به جای آن‌ها از دیرگدازهای کرم منیزیتی و یا دیرگدازهای منیزیت ـ کرمیتی استفاده می‌شود.

خاک چینی، کائولن‌ها

خاک چینی و یا خاک کائولن نیز در رده مواد سرامیکی می‌باشند. چینی‌ها هر چه شفاف‌تر باشند، مرغوبترند. مواد اولیه‌ی چینی‌ها را کائولن و فلدسپات $KAlSi_3O_8$ و SiO_2 از نوع آلوتروپی کوارتز تشکیل می‌دهد. کائولینیت (کائولن) دارای ترکیب شیمیایی $2SiO_2$ ،$2H_2O$ و Al_2O_3 می‌باشد. کائولینیت از سیلیکات‌های آبدار از لایه‌های چهار وجهی $[SiO_4]$ و $[AlO_2(OH)_4]$ تشکیل می‌شود. اگر مواد اولیه‌ی آن عاری از اکسید آهن (Fe_2O_3) باشد، کاملاً شفاف است. از مواد چینی به دلیل عدم خوردگی شیمیایی در طبیعت و در محیط‌های عادی و نیز به دلیل عایق بودن در صنایع الکتریکی و برق استفاده می‌شود.

مواد سرامیکی غیر اکسیدی

این مواد از عناصر کربن، سیلیسیم، ژرمانیم، برونیتروژن و هیدروژن تشکیل شده است. برای مثال ترکیبات SiC (کاربید سیلیسیم)، نیترو سیلیسیم (Si_3N_4)، کاربیدهای TiC (کاربید تیتانیوم)، VC (کاربید وانادیوم)، WC (کاربید تنگستن) و . . . از جمله‌ی این ترکیبات هستند که نقاط ذوب و چگالی آن‌ها در حدود ۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نقطه‌ی ذوب و سختی برخی از این کاربیدها در جدول زیر آورده شده است.

درجه حرارت ذوب و سختی (HV) بعضی از کاربیدهای فلزات واسط

ماده	WC	TaC	HfC	MO_2C	NbC	ZrC	Cr_3C_2	VC	TiC
نقطه‌ی ذوب °C	۲۶۰۰	۳۷۸۰	۳۸۹۰	۲۴۰۰	۳۵۰۰	۳۵۳۰	۱۸۹۵	۲۸۳۰	۳۱۴۰
سختی ویکرز (HV)	۲۱۸۰	۱۷۹۰	۲۷۰۰	۱۹۵۰	۲۴۰۰	۲۵۶۰	۲۲۸۰	۲۹۵۰	۳۲۰۰

کربن نیز به صورت گرافیت و الماس (دو آلوتروپی کربن) وجود دارد که گرافیت دارای نقطه ذوب بالا در ساخت نسوزهای گرافیتی از آن استفاده می‌شود.

مثال ۲: کدام ماده دیرگداز محسوب می‌شود؟

۱) اکسید آهن ۲) اکسید سدیم ۳) کائولن ۴) خاک رس (clay)

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» در بین مواد گزینه‌های فوق فقط کائولن دیرگداز است.

مثال ۳: کدام ماده دیرگداز در ساخت آجر نسوز کاربردی ندارد؟

۱) SiO_2 ۲) CaO ۳) MgO ۴) ZrO_2

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» زیرا آهک جذب آب کرده و پس از پخت امکان ترک در آن وجود دارد.

مثال ۴: کدام دیرگداز قلیایی است؟

۱) منیزیت ۲) سیلیس ۳) اکسید آهن ۴) آلومین

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» منیزیت در بین ترکیبات فوق به طور کامل قلیایی است.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال ۵:حرارت زینتر مواد دیرگداز به وسیله ..... اندازه‌گیری می‌شود.

۱) هرم مربع‌القاعده از جنس دیرگداز
۲) هرم ناقص از جنس دیرگداز
۳) مخروط زِگر از جنس دیرگداز
۴) هرم زِگر از جنس دیرگداز

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» حرارت زینتر مواد دیرگداز به وسیله مخروط زگر از جنس دیرگداز اندازه‌گیری می‌شود.

مثال ۶: کدام آلوتروپی (SiO_2) پس از تبدیل برگشت‌پذیر است؟

۱) کوارتز به تریدیمیت
۲) کوارتز $\alpha \rightarrow \beta$
۳) تریدیمیت $\beta \rightarrow \alpha$
۴) کریستوبالیت $\alpha \rightarrow \beta$

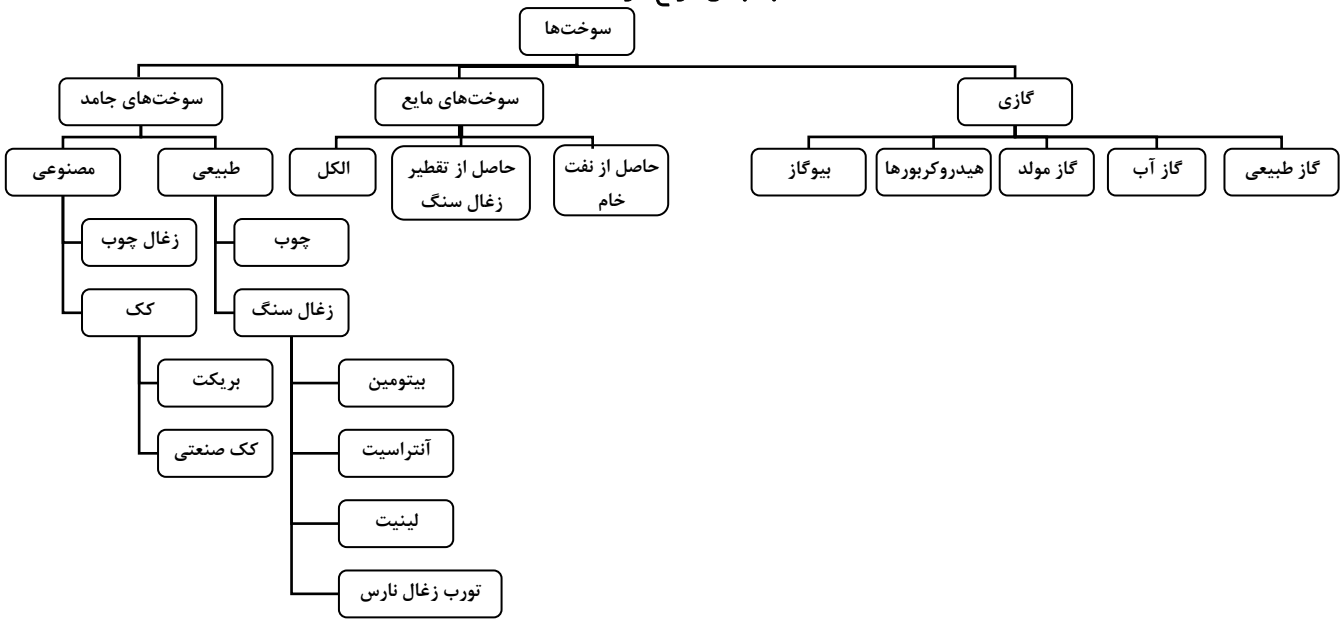
☑ **پاسخ:** گزینه «۱» طبق دیاگرام تغییرات آلوتروپی

سوخت‌ها ـ دسته‌بندی سوخت‌ها

سوخت‌ها موادی هستند که از ترکیب شیمیایی آن‌ها با اکسیژن و سایر مواد و عناصر انرژی تولید شود، به طوری که ارزش حرارتی آن‌ها برای استفاده قابل قبول باشد. معمولاً سوخت‌ها از کربن، هیدروژن، گوگرد و یا ترکیبی از آن‌ها تشکیل شده است. ارزش حرارتی سوخت‌ها، مقدار حرارتی است که از سوختن یک کیلوگرم از سوخت جامد، مایع و یا یک متر مکعب از هر گاز در شرایط متعارفی تولید می‌شود (دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار یک آتمسفر). در جدول زیر ارزش حرارتی بعضی از سوخت‌ها مشخص شده است.

سوخت‌های جامد	$\frac{kj}{kg}$	سوخت‌های مایع	$\frac{kj}{kg}$	سوخت‌های گازی	$\frac{kj}{m^3}$
چوب	۱۵۰۰۰	نفت	۴۱۰۰۰	اتیلن	۵۷۰۰۰
زغال چوب	۲۶۰۰۰	بنزین	۴۳۰۰۰	پروپان	۹۳۰۰۰
زغال سنگ قهوه‌ای	۳۳۰۰۰	گازوئیل	۴۲۰۰۰	بوتان	۱۲۳۰۰۰
کک	۳۰۱۰۰	مازوت	۴۰۰۰۰	گاز شهری	۱۸۰۰۰

طبقه‌بندی انواع سوخت‌ها



نکته ۳: زغال‌سنگ‌ها منشأ نباتی دارند. آن‌ها از بقایای نباتات و گیاهان که طی سالیان و گاه میلیون‌ها سال در اثر عوامل طبیعی (فشار، حرارت) به این صورت درآمده‌اند، در زمین به وجود آمده‌اند.

نکته ۴: هر چه خاکستر حاصل از سوختن مواد بیشتر باشد، ارزش حرارتی آنها پایین‌تر است.

نکته ۵: هر چه مواد فرار سوخت‌ها بیشتر باشد، سوخت آتشگیرتر است (دارای درجه اشتعال کمتری است)

www.modaresanesharif.ac.ir