فصل هفتم

سایر فلزات و آلیاژهای صنعتی

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که:

۱- خصوصیات نیکل و آلیاژهای آن را شرح دهد.
۲- خصوصیات روی وآلیاژهای آن را توضیح دهد.
۳- خصوصیات سرب و آلیاژهای آن را توضیح دهد.
۴- خصوصیات قلع و آلیاژهای آن را شرح دهد.
۵- خصوصیات جیوه وآلیاژهای آن را شرح دهد.
۶- خصوصیات فلزات سبک را توضیح دهد.
۷- خصوصیات فلزات دیرگداز را شرح دهد.
۸- خصوصیات فلزات فروآلیاژ را توضیح دهد.
۹- خصوصیات و فلزات گرانبها را شرح دهد.

مقدمه:

فلزات غیرآهنی براساس تولید، خواص، استفاده و فراوانی به گروه هایی تقسیم بندی می شوند (جدول۱-۷).که این گروه بندی قراردادی است و یک فلز ممکن است در دو گروه قرار گیرد، به عنوان مثال تیتانیم هم فلز سبکی است و هم فلز دیرگدازی است.

.

جدول ۱-۷- گروه بندی فلزات غیر آهنی

گروه	فلزات	ملاحظات
اولیه	مس، سرب، روی، قلع، نیکل، آلومینیم	استفاده فراوان، مهم ترین عناصر بعد از آهن
ثانویه	آرسنیک،آنتیموان، بیسموت، کادمیم، جیوه، کبالت	معمولاً محصولات جانبی فلزات اولیه هستند، تقریباً مقدار مصرف یکسان دارند(۱۰ تا ۲۰ هزار تن در سال)
سبک	بریلیم، منیزیم، آلومینیم، تیتانیم	وزن مخصوص کم (زیر ۴/۵)، عمده استفاده به عنوان مواد ساختمانی
گرانبها	طلا، نقره، پلاتین، اوسمیم، ایریدیم، روتنیم، رودیم، پالادیم	زنگ نمی زنند، قیمت بالایی دارند
دیرگداز	تنگستن، مولیبدن، نایوبیم، تانتالم، تیتانیم، زیرکونیم، هافنیم، وانادیم، رنیم، کرم	نقطه ذوب بالای ۱۶۵۰ درجه سانتی گراد، عمدتاً به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد به کار می روند اما کاربرد مستقل هم دارند، تا حدی مقاومت اکسید شدن در دمای بالا
فلزات فروآلیاژ	کرم، منگنز، سیلیسیم، بر	در ابتدا عمدتاً به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد به کار می رفتند اما اکنون کاربرد مستقل هم دارند
قلیایی	لیتیم، سدیم، پتاسیم، روبیدیم، سزیم	نرم و بسیار واکنش دهنده
قلیایی خاکی	بریلیم، منیزیم، کلسیم، سریم، باریم	نقطه ذوب بالاتر و واکنش دهندگی کمتر نسبت به فلزات قلیایی

علاوه بر موارد فوق، گروه های عناصر رادیو اکتیو، کمیاب خاکی و عناصر پراکنده هم وجود دارند که پرداختن به آنها در این قسمت امکان پذیر نمی باشد.

فلزات اولیه:

اگرچه آهن پرکاربردترین فلز است، اما فاقد خواص مهمی از قبیل مقاومت خوردگی است. از ابتدای قرن نوزدهم؛ مس، آلومینیم، نیکل، سرب، روی، قلع و آلیاژهای آنها به عنوان جایگزین برای آهن در کاربردهای صنعتی مطرح شدند.

۱-۷- نیکل

نیکل، فلزی است با چگالی یا جرم حجمی معادل ۸/۹۱ گرم بر سانتیمترمکعب که نقطه ذوب آن برابر ۱۴۵۵ درجه سانتیگراد می باشد. نیکل یک فلز بسیار عالی برای اغلب کاربردهای مهندسی و ساختمانی است. شکل پذیر و چقرمه است. استحکام این فلز در دمای بالا و پایین خوب است، همچنین دارای مقاومت خوب در برابر اکسید شدن و خوردگی در اغلب محیط ها می باشد. متاسفانه بزرگترین عیب این فلزگرانی آن است، بنابراین کاربرد آن به عنوان یک فلز پایه برای آلیاژها بسیار محدود می باشد. بنابراین آلیاژهای پایه نیکل زمانی به کار می روند که فلز ارزانتر دیگری در دسترس نباشدکه بتواند مقاومت لازم به خوردگی یا دمای بالا را برای یک کاربرد خاص مهندسی داشته باشد.

کاربردها: نیکل خالص چکش خواری و شکل پذیری خوبی دارد. مقاومت به خوردگی نیکل در محلول های سود سوزآور موجب کاربردآن در تجهیزات تولید مواد غذایی و شیمیایی، مبدل های حرارتی و الکترودها می گردد. مقادیر زیادی از نیکل بر روی فلزات دیگر (به ویژه آلیاژهای فولاد، مس و روی) به عنوان پوشش محافظ در برابر خوردگی، به روش آبکاری استفاده می شوند.

نیکل در فولادهای زنگ نزن و فولادهای آلیاژی به عنوان عنصر آلیاژی به کار می رود. غلظت نیکل در فولاد زنگ نزن معمولاً ۷ تا ۹ درصد است و تا ۲۰ درصد هم می رسد. تقریباً نیمی از تولید جهانی نیکل در ساخت فولاد زنگ نزن مصرف می شود. فولادهای زنگ نزن مقاومت به خوردگی عالی در محیط های مختلف و دماهای بالا دارند و کاربرد وسیعی در صنایع شیمیایی و غذایی، قطعات ساختمانی، سیستم حمل و نقل، مبدل های حرارتی و اجزای کوره دارند.

استحکام خوب نیکل در دمای بالا و لایه اکسید محافظ نیکل، سبب کاربرد آلیاژهای پایه نیکل در دماهای بالا تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد می شود. آلیاژهای نیکل در موتورهای جت و دیگر سیستم های دما بالا استفاده می شوند. مقاومت خوردگی عالی در محلول های قلیایی (سود سوز آور) و همچنین خواص مغناطیسی باعث کاربرد نیکل در صنایع مختلف شده است. مزایای نیکل در آلیاژهای آهنی همراه با توسعه کاربرد آلیاژهای پایه نیکل که به دلیل خواص عالی این فلز است، تولید جهانی نیکل را به بیش از یک میلیون تن در سال رسانده است.

آلیاژهای نیکل- مس (مونل): این آلیاژها برای اولین بار حدود ۲۰۰۰ سال قبل ساخته شدند. سنگ معدن نیکل و مس گاهی اوقات با یکدیگر یافت می شوند و سولفید هر دو فلز با روش ساده ای احیاء می شوند. آلیاژ بسیار معروف مونل با **۶۵٪** نیکل و ۳۵٪ مس مقاومت در برابر خوردگی بهتری نسبت به نیکل خالص در شرایط مختلف دارد و تا دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد استحکام خوبی را نشان می دهد. مونل های با درصد نیکل بین ۱۰٪ تا ۳۰٪ قیمت کمتری دارند و با وجود استحکام کمتر، برای کاربردهای مقاوم به خوردگی در آب دریا و تجهیزات مبدل حرارتی مناسب هستند.

آلیاژ نیکل- کرم (نیکرم): با افزایش کرم به نیکل تا **۱۲٪** مقاومت در برابر اکسیداسیون آلیاژ کاهش می یابد اما با افزایش مقدار کرم به بالاتر از **۱۵٪** مقاومت در برابر اکسیداسیون به شدت افزایش می یابد. چکش خواری و هدایت الکتریکی با افزایش درصد کرم کاهش می یابد.

معروف ترین آلیاژ این گروه شامل **۲۰٪**کرم است و دارای مقاومت در برابر شکست خوب، چکش خواری مناسب برای تولید و مقاومت در برابر اکسیداسیون بهتر از نیکل خالص است. این آلیاژ کاربرد وسیعی به عنوان المنت حرارتی در کوره های صنعتی دارد و تا دمای ۱۱۵۰ درجه سانتی گراد مقاومت اکسیداسیون خوبی را از خود نشان می دهد. با افزودن ۲۵٪ آهن، قیمت آلیاژ نیکل- کرم کاهش می یابد و با این وجود تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد برای المنت حرارتی اجاق آشپزخانه کاربرد دارد.

آلیاژ نیکل- کرم- آهن (اینکونل): قیمت فروکرم ارزان تر از کرم خالص است و با افزودن آن به نیکل آلیاژ نیکل- کرم- آهن با قیمت کمتر و توانایی حفظ استحکام در دمای بالا و مقاومت در برابر خوردگی مشابه آلیاژ نیکل- کرم به دست می آید. *اینکونل* نام تجاری آلیاژهای نیکل- کرم- آهن است که در ابتدا توسط شرکت اینکو در کانادا توسعه یافت. که دارای ۸۰٪ نیکل، ۱۵٪ کرم و ۵٪ آهن است.

با افزودن عناصر مختلف برای افزایش استحکام، قابلیت جوش پذیری و افزایش مقاومت خوردگی و نیز کاهش قیمت؛ گروه های مختلف اینکونل گسترش یافتند. اینکونل ها در کوره ها، موتورهای درون سوز، موتورهای جت و تجهیزات جابجایی محلول های خورنده استفاده می شوند. اگرچه دارای قیمت بالاتر و کمی سنگین تر از فولاد زنگ نزن هستند اما مقاومت اکسیداسیون در دماهای بالا و مقاومت در برابر خوردگی بهتری در محیط های کلردار دارند.

سوپر آلیاژها[۱]: سوپر آلیاژها، آلیاژهای مقاوم به حرارت در دمای بالا (۱۱۰۰ درجه سانتی گراد) هستند و قادرند استحکام خود را در دماهای بالا حفظ کنند. این آلیاژهای پیچیده همچنین مقاومت خوبی به خوردگی و اکسایش، و مقاومت زیادی به خزش[۲] و شکست در دمای بالا دارند.

سوپر آلیاژهای نیکل، از سال ۱۹۳۰ در تلاش برای بهبود کارکرد دمای بالای آلیاژهای نیکل- کرم توسعه پیدا کردند. در طول سال ها، با افزایش کرم، تیتانیم، آلومینیم، مولیبدن، کبالت، نایوبیم، زیرکونیم، بر، آهن و عناصر دیگر این آلیاژها تکامل یافته است. بیشترین کاربرد سوپر آلیاژها مربوط به صنایع هواپیما و توربینهای گازی است. اما از آنها در توربین های زمینی برای تولید برق، موتور موشک، راکتورهای هسته ای، زیر دریایی ها، دیگ های بخار، تجهیزات پتروشیمی و سایر کاربردهای دمای بالا نیز استفاده می شود.

سوپر آلیاژها با نامهای اختصاصی متفاوتی شناخته می شوند که شامل آسترلوی[۳]،

۱- Superalloys

۲- شکست جسم در اثر اعمال نیروی کم در دمای بالا در زمان طولانی

۳- Astroloy

اینکولوی[1]، نیمونیک[2]، رن[3]، یودیمت[4] و واسپالوی[5] می شود. اگرچه ترکیبات سوپر آلیاژها تا حدی تغییر می کند اما معمولاً در محدوده مشخص شده در جدول زیر قرار می گیرند:

جدول ۲-۷- ترکیبات سوپر آلیاژها

عناصر آلیاژی	مقدار (٪)	عملکرد
کرم	۲۰-۱۵	بهبود مقاومت اکسیداسیون، تشکیل کاربید و افزایش استحکام
کبالت	۲۰-۱	تشکیل رسوب، افزایش استحکام
مولیبدن، تانتالم، تنگستن، رنیم	۱۰-۰	افزایش استحکام
آلومینیم	۶-۰/۸	تشکیل رسوب، افزایش استحکام
تیتانیم، نایوبیم	۵-۲	تشکیل رسوب، افزایش استحکام
کربن	۰/۲-۰/۰۴	تشکیل کاربید و رسوب
بر	۰/۰۳-۰/۰۶	افزایش استحکام
زیرکنیم، هافنیم	۲-۰/۰۲	افزایش استحکام
اکسید ایتریم	کمتر از ۱	افزایش استحکام

نیکل در آلیاژهای مغناطیسی و آلیاژهای با انبساط حرارتی کم: آلیاژ نیکل-آهن با ۷۲ تا ۸۳ ٪ نیکل به عنوان ماده مغناطیسی کاربرد دارد. آلیاژ نیکل- آهن با **۳۶٪** نیکل ضریب انبساط حرارتی کمی دارد و برای آب بندی شیشه- فلز به کار می رود.

نیکل در باتری ها: باتری های نیکل- کادمیم، فشرده، با توان بالا و قابلیت شارژ مجدد هستند و در گوشی های همراه و سایر دستگاه های الکترونیکی قابل حمل استفاده می شوند. شکل ۱-۷ کاربردهای نیکل را نشان می دهد.

۱- Incoloy
۲- Nimonic
۳- Rene
۴- Udimet
۵- Waspaloy

الف

ب

شکل۱-۷- کاربردهای نیکل و آلیاژهای نیکل
(الف) کاربرد سوپر آلیاژها در موتور جت
(ب) کاربرد در مبدل های حرارتی

آلیاژ نیکل-سیلیسیم: مهمترین آلیاژ این گروه هاستلوید[1]، حاوی ۹۰٪ نیکل و ۱۰٪ سیلیسیم است. این آلیاژ در مقابل خوردگی های اسیدی و به خصوص اسید سولفوریک مقاوم است. ریخته گری این آلیاژ از تمام آلیاژهای نیکل ساده تر است زیرا از یک طرف حضور سیلیسیم سیالیت آلیاژ را بالا برده و از طرف دیگر جذب گاز و حساسیت به ترک خوردگی آن کمتر است. کاربرد این آلیاژ در ساخت انواع تجهیزات صنایع شیمیایی از قبیل بدنه، ظرف، اتصالات، لوله و سوپاپ می باشد.

۲-۷- روی

مقدمه: روی فلزی است با چگالی ۷/۱ گرم بر سانتی متر مکعب و نقطه ذوب ۴۱۹ درجه سانتیگراد و نقطه جوش ۹۱۱ درجه سانتیگراد. فلز روی یکی از فلزات اصلی در دنیای امروز است. اگرچه فراوانی زیادی ندارد (۷۶ میلیونیم پوسته زمین)، تولید سالیانه ۸/۵ میلیون تن روی آن را بعد از آهن، آلومینیم و مس در مقام چهارم قرار داده است. بیشترین کاربرد روی، به عنوان پوشش محافظ به منظور تأخیر در خوردگی و سختکاری سطح فولاد است، اما روی در ساخت برنج و آلیاژهای ریختگی تحت فشار روی نیز استفاده می شود.

۱- Hastelloyd

تاریخچه: روی امروز یک فلز کارآمد است. روی نقطه ذوب پایین، سختی کم و استحکام متوسط دارد. مزایای اصلی آن مقاومت در برابر خوردگی، قیمت پایین و قابلیت ریخته گری عالی است. روی خالص کاربرد بسیار کمی دارد و بیشتر به صورت آلیاژی استفاده می شود.

خواص : روی در دمای اتاق واکنش کمی با هوای خشک دارد، اما بالای ۲۰۰ درجه سانتی گراد به سرعت اکسید می شود. روی توسط بیشتر اسیدها و قلیاها مورد تهاجم قرار می گیرد. قیمت کم و نقطه ذوب پایین روی، باعث سهولت اعمال پوشش محافظ بر سطح فولاد و چدن می شود.

نیمی از تولید جهانی روی به شکل پوشش سطحی فلزات آهنی مصرف می شود. فولاد با سطح تمیز شده درون حمام روی مذاب در دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد فرو برده می شود (گالوانیزه غوطه وری گرم) و در نتیجه لایه سطحی چسبنده، سخت و مقاوم به سایش بر سطح فولاد تشکیل می شود (شکل ۲-۷). روی به صورت خالص و یا با افزودنی هایی از قبیل سیلیسیم و آلومینیم برای کنترل شرایط لایه و افزایش مقاومت در برابر خوردگی پوشش به کار می رود. علاوه بر روش غوطه وری گرم، روش آبکاری و پاشش حرارتی نیز برای پوشش روی بر سطح فولاد به کار می رود. گالوانیزه می تواند از تشکیل زنگ بر سطح فولادی که در معرض هوا قرار گرفته است برای بیش از ۲۰ سال ممانعت **کند.**

الف

ب

شکل ۲-۷- (الف) خط گالوانیزه ورق فولاد و (ب) محصولات نهایی (فولاد مبارکه اصفهان)
عمده کاربردهای ورق گالوانیزه عبارتند از: پانلها و تابلوهای برق، سینی کابل، برخی از قطعات لوازم خانگی و تجهیزات آشپزخانه، مخازن، مجراهای هوا و دودکش ، ناودان ها و لوله ها، بدنه و سقف سوله ها و سالن ها

روی به عنوان عنصر آلیاژی: روی در برنج و آلیاژهای آلومینیم به کار می رود. برنجها (آلیاژهای مس- روی) با محتوای روی از چند درصد تا نزدیک به ۵۰ درصد هستند. برنج اولین آلیاژ مورد استفاده بشر بوده و امروزه هم به دلیل استحکام، شکل پذیری آسان، مقاومت در برابر خوردگی، رنگ جذاب و قیمت متوسط آن محبوبیت دارد. در حدود ۱۰٪ تولید جهانی روی در تولید برنج مصرف می شود.

افزودن روی به آلومینیم باعث افزایش استحکام آن می گردد. آلیاژهای آلومینیم- روی- منیزیم با محتوای تا ۶٪ وزنی روی بیشترین استحکام را در میان گروه های آلیاژی آلومینیم دارند و به طور وسیع در صنایع هواپیما و خودروسازی استفاده می شود. روی به عنوان استحکام بخش مفید در آلیاژهای پایه منیزیم و در قلع، نقره، طلا و آلیاژهای لحیم نیز مطرح است.

آلیاژهای ریختگی روی: آلیاژهای ریخته گری تحت فشار روی با استحکام و قیمت مناسب برای بسیاری از کاربردها تولید می شوند.(شکل ۳-۷) ریخته گری تحت فشار برای روی با خلوص بالا و آلیاژهای روی شامل آلومینیم، مس و منیزیم صورت می گیرد. آلومینیم با کمتر از ۴/۳٪ وزنی برای جلوگیری از تهاجم روی مذاب به قالب فولادی، مس تا ۳/۵٪ برای افزایش استحکام و منیزیم حداکثر ۰/۸٪ برای حذف ناخالصی ها از قبیل سرب و قلع به آلیاژ روی اضافه می شوند. نام تجاری این آلیاژها زاماک می باشد که در ایران به غلط به سرب خشک معروف شده اند، در حالیکه سرب خشک از آلیاژهای سرب-آنتیموان می باشد. در جدول ۳-۷ مشخصات بعضی آلیاژهای روی آورده شده است.

جدول ۳-۷-مشخصات آلیاژهای روی

	زاماک ۲	زاماک ۳	زاماک ۵
آلومینیم	۳/۵-۴/۵	۳/۵-۴/۵	۳/۵-۴/۵
مس	۲/۵-۳/۵	۰/۱	۰/۷۵-۱/۲۵
منیزیم	۰/۰۲-۰/۱	۰/۰۳-۰/۰۸	۰/۰۳-۰/۰۸
آهن، سرب، کادمیم، قلع	ناخالصی	ناخالصی	ناخالصی
دامنه ذوب (درجه سانتیگراد)	۳۸۰-۳۹۰	۳۸۰-۳۸۶	۳۸۰-۳۸۶

آلیاژهای استاندارد برای ریخته گری تحت فشار (که با حروف **GD** مشخص می شوند) شامل ۴٪ آلومینیم و ۱ ٪ مس (Z۴۱۰) و آلیاژ با ۴٪ آلومینیم بدون مس(Z۴۰۰) می باشند.

آلیاژ استاندارد برای ریخته گری در ماسه (با حرف مشخصه **S**) و ریخته گری ثقلی (با حرف مشخصه **GK**) شامل آلیاژ محتوی ۴٪ آلومینیم و ۳٪ مس (Z۴۳۰) و آلیاژ با ۶٪ آلومینیم و ۱٪ مس (Z۶۱۰) و سایر آلیاژهای با ۸٪، ۱۲٪ و ۲۷٪ آلومینیم (**Z۸، Z۱۲** و **Z۲۷**) به عنوان آلیاژهای ریختگی و کارشده برای مصارف خاص توسعه یافته اند. آلیاژ شامل ۳۰٪ آلومینیم و ۵٪ مس برای صفحات یاتاقان استفاده می شود.

ریخته گری تحت فشار آلیاژهای روی- آلومینیم (به عنوان مثال روی با ۴٪ آلومینیم) برای تولید شکل های پیچیده و در تعداد بالا کاملاً مناسب است. سادگی کار، کاهش قیمت، دمای پایین مذاب وعمر طولانی تر قالب همگی از مزایای ریخته گری تحت فشار آلیاژهای روی- آلومینیم هستند. آلیاژهای روی- آلومینیم با مقادیر بیشتر آلومینیم به دلیل دمای ذوب بالاتر در ریخته گری تحت فشار با مشکل موجه هستند اماچگالی آنها کمتر و استحکامشان بالاتر است.

شکل۳-۷- قطعات ریخته گری تحت فشار روی

آلیاژهای کارپذیر روی: در حدود ۱۰٪ از همه تولیدات روی به وسیله نورد به شکل ورق، صفحه، میله، سیم و فویل در می آید. آلیاژهای روی- مس- تیتانیم محکم تر و دارای

مقاومت در برابر خوردگی بیشتر از روی خالص هستند. آلیاژ روی تیتانیم (**ZnCuTi**) شامل ۰/۱٪ تا ۰/۸٪ مس، ۰/۰۸٪ تا ۰/۱۵٪ تیتانیوم و ۰/۰۰۲٪ تا ۰/۰۱٪ آلومینیم است. آلیاژهای روی- آلومینیم با مقدار ۴٪ تا ۲۷٪ آلومینیم اهمیت صنعتی زیادی دارند.

در حدود ۱۰٪ محصولات روی برای تولید ترکیبات روی به کار می رود. اکسید روی در لاستیک سازی، سرامیک ها، کاتالیست ها، پمادهای ضد آفتاب، تولید کاغذ و اصلاح کننده های خاک کشاورزی استفاده می شود. دیگر ترکیبات روی در لامپ تصویر تلویزیون، سرباره سازی متالورژی، محافظت خوردگی، در الکترولیت آبکاری روی و ... به کار می روند.

۳-۷- سرب

تاریخچه: سرب فلزی است با چگالی ۱۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۳۲۷ درجه سانتی گراد است. سرب برای بیش از ۵۰۰۰ سال مورد استفاده بشر بوده است. سرب دارای توزیع فراوان و مناسب، ارزان، مقاوم به خوردگی و چکش خوار است. آلیاژهای سرب استحکام کافی برای تحمل بارهای متوسط را دارند. بیش از ۲۰۰۰ سال قبل در امپراطوری روم، از لوله های سربی برای انتقال آب، از ورقه ها و قطعات سرب برای تزئینات و ساختمان ها استفاده می کردند. در طول قرن ها کاربردهای جدید سرب شامل لحیم کاری، پوشش بام، بتونه شیشه های ساختمان، یاتاقان ها و ناودانی توسعه یافته است. در میانه قرن بیستم، سرب کاربردهای گسترده ای از جمله باتری ها، رنگ ها، سرامیک ها، ترکیبات ضد انفجار در بنزین، لحیم ها، ورق ها و مهمات داشت. اگر چه اخیراً با توجه به سمی بودن سرب، کاربرد آن با محدودیت مواجه شده است؛ اما درخواست روزافزون برای باتری های اسید- سرب، کاهش استفاد از سرب در بخش های دیگر را جبران می کند. تغییرات اخیر در مصرف سرب،آن را بیشتر به صورت یک عنصر با یک کاربرد مطرح می سازد؛ زیرا بیش از ۸۰٪ سرب های تولیدی در باتری ها مصرف می شوند (شکل ۴-۷). تولید جهانی سرب کمتر از ۳ میلیون تن در سال است و به همین میزان سرب مصرفی در باتری ها بازیافت می شود.

آلیاژهای سرب- قلع لحیم های عالی برای اتصالات الکتریکی و مکانیکی می سازند؛ اما استفاده از آنها به دلیل تمایل به لحیم های بدون سرب، در حال کاهش است. همچنین آلیاژهای سرب- قلع پوشش های مقاوم به خوردگی خوبی برای فولادها هستند. آلیاژهای قلع- سرب (**metal white**) زمانی آلیاژ اصلی برای تولید یاتاقان ها بودند؛ اما جای خود را به یاتاقان های مس- سرب یا برنز- سرب با محتوای ۲۰٪ تا ۴۰٪ سرب دادند.

شکل ۴-۷ کاربرد عمده سرب در باتری ها است

۴-۷- قلع

تاریخچه: برنز ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در مصر با احیاء همزمان سنگ معدن های مس و قلع ساخته شد. قلع خالص برای اولین بار در چین و ژاپن در ۱۸۰۰ سال قبل از میلاد تولید شد. اگرچه عصر آهن به دوران عصر برنز پایان داد؛ اما قلع همچنان به عنوان فلزی ارزشمندی در پوشش های مقاوم به خوردگی ،در آلیاژها، لحیم ها و یاتاقان ها کاربرد دارد.

خواص: قلع فلزی است با چگالی ۷/۳ بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۲۳۲ درجه سانتی گراد می باشد. قلع فلزی نرم، براق و مقاوم در برابر خوردگی خوب است. قلع به عنوان پوشش مقاوم به خوردگی و جزیی از آلیاژهای لحیم استفاده می شود. اگرچه قلع خالص

برای کاربرد ساختمانی بسیار ضعیف است، اما به عنوان عنصر آلیاژی برای سخت کردن سایر فلزات مثل مس، سرب، تیتانیم و روی اضافه می گردد.

کاربرد؛پوشش های قلع: قلع به روش آبکاری بر سطح فولاد کم کربن، پوشش چسبنده ای تشکیل می دهد که مقاوم به خوردگی است. بیشترین کاربرد صفحات قلع اندود شده برای ظروف بسته بندی غذا است. قلع مانع زنگ زدن قوطی های فولادی می شود حتی اگر غذاهای اسیدی برای سال ها در آن نگهداری شوند. ورق های فولادی نورد شده که با قلع پوشش داده می شوند در باتری ها، قطعات خودرو و تابلوها نیز کاربرد دارند. ورق های قلع اندود شده پس از شکل دهی قابلیت لحیم کاری و یا جوشکاری دارند. آلیاژهای سرب- قلع و سرب- قلع- آنتیموان (حلب سرب دار[1]) با محتوای ۸٪ تا ۲۵٪ قلع ، به عنوان پوشش های مقاوم به خوردگی به روش غوطه وری گرم روی فولاد و دیگر فلزات به کار میرود. کاربرد آلیاژهای فوق شامل پوشش بام، ناودانی، لوله، تزیینات هنری، پایه الکترونیکی و جعبه های اتصال است. پوشش های قلع- روی، قلع- کادمیم با روش آبکاری برای محافظت خوردگی در محیط مرطوب و دریایی اعمال می شوند. پوشش قلع- نیکل (با ۶۵٪ قلع) با ایجاد سطح سخت و مقاوم به سایش و خوردگی بر روی فلزات آهنی و غیر آهنی آبکاری می شود. علاوه بر روش غوطه وری گرم و آبکاری، از پاشش حرارتی نیز برای پوشش قلع استفاده می شود (شکل۵-۷).

آلیاژهای یاتاقان: یاتاقان ها سطوح کم اصطکاک و تغییر پذیری برای نگهداری قطعات در حال چرخش یا لغزش، در وضعیت مناسب ایجاد می کنند. آلیاژهای قلع خواص مناسبی برای یاتاقان ها دارند از جمله مقاومت در برابر خوردگی، نگهداری لایه روغن، نرمی کافی برای تطبیق با شکل هندسی شفت، به دام انداختن ذرات خرد شده و آلودگی و ممانعت از عملکرد ذرات ساینده در بین قطعات در حال حرکت.

یاتاقانهای **white metal** (که اغلب بابیت[2] نامیده می شود) تقریباً محتوی ۷٪ تا ۷۰٪ قلع با ۳٪ تا۵٪ مس و مقادیر مختلف سرب و آنتیموان هستند. آلیاژهای یاتاقان آلومینیم-

---

۱- terneplate

۲- Babbit

قلع نیز با داشتن ۶٪ تا ۴۰٪ قلع، به طور وسیعی استفاده می شوند (شکل ۶-۷).

الف

ب

شکل۵-۷- (الف) ورق قلع اندود (فولاد مبارکه اصفهان) (ب) محصولات نهایی

ورق قلع اندود دارای کاربرد های زیادی است و غالباً در صنایع بسته بندی مواد غذائی ، شیمیائی ، داروئی ، رنگها و ورنی ها و با درصد اندکی نیز در ساخت سایر مصنوعات از قبیل فیلتر روغن ، گازوئیل ، هوا و آب برای کامیون ، اتوبوس ، تراکتور و ماشین آلات سنگین ، اتومبیل های سواری ، صنایع اسباب بازی ، باتری سازی و ... به کار می رود .

شکل۶-۷- یاتاقان

فلزات ثانویه:

این گروه شامل فلزات ، کادمیم، جیوه، کبالت و نیمه فلزات آرسنیک، آنتیموان، بیسموت است. این فلزات معمولاً محصولات جانبی فلزات اولیه هستند، اما کاربرد خاص خود را دارند. این فلزات مقدار مصرف تقریباً یکسان دارند(۱۰ تا ۲۰ هزار تن در سال).

۵-۷- جیوه

تاریخچه: جیوه فلزی است با چگالی ۱۳/۶ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۳۶- درجه سانتی گراد است. فلز جیوه اولین بار در ۲۵۰۰ سال قبل استخراج شد. جیوه به راحتی از سنگ معدن جدا می شود و دردمای اتاق به صورت مایع است. به دلیل سمی بودن جیوه، کاربرد آن در باتری ها، مواد پر کننده دندان، احیاء فلزات گرانبها و استفاده در سیستم روشنایی در حال کاهش است. تولید جیوه در جهان به کمتر از ۱۵۰۰ تن در سال رسیده است.

کاربرد: فلزی که در دمای محیط مایع است برای دماسنج ها، کلیدهای الکتریکی، آمالگام (ملقمه) دندان پزشکی و الکترودها که قابلیت جذب مواد در سطح را دارد؛ مفید است. جیوه برای استخراج ذرات کوچک طلا و نقره از سنگ معدن خرد شده به کار می رفت. جیوه در لامپ های بخار جیوه و مهتابی ها کاربرد داشت. اکسید جیوه در باتری ها و رنگدانه استفاده می شد، اما با مواد غیر سمی جایگزین شد.

فلزات سبک:

شامل بریلیم، منیزیم، آلومینیم و تیتانیم هستند. آنها به صورت خالص و در آلیاژها استفاده میشوند. خواصی نظیر وزن کم و استحکام بالا؛ آنها را موادی ارزشمند برای کاربرد ساختمانی می سازد. آنها فلزات فعالی هستند و تهیه آنها به صورت خالص مشکل است.

۶-۷- بریلیم

تاریخچه: بریلیم فلزی است با چگالی ۱/۹ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۱۲۸۰ درجه سانتی گراد می باشد. فلز بریلیم در سال ۱۸۲۸ با احیای کلرید بریلیم ($BeCl_2$) با فلز پتاسیم استخراج شد. بریلیم تا قرن بیستم مورد توجه نبود؛ تا هنگامی که صنایع هوایی آن را به دلیل چگالی پایین و نقطه ذوب بالا در ساختمان بدنه ی هواپیما به کار گرفتند. آلیاژ معروف بریلیم- مس در سالهای بعد از جنگ جهانی اول کاربرد گسترده ای پیدا کرد.

خواص: بریلیم به شدت با اکسیژن واکنش می دهد. لایه اکسید بلافاصله پس از قرار گرفتن

در معرض هوا تشکیل شده وتا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد، فلز را از ادامه اکسیداسیون محافظت می کند. چگالی کم، مقاومت در برابر اکسیداسیون، هدایت بالا، نقطه ذوب بالا و خاصیت الاستیک بالا، بریلیم را ماده ای عالی برای صنایع هوافضا و حمل و نقل کرده است. متاسفانه بریلیم دارای قیمت زیاد، ترکیبات سمی و چکش خواری کم است که کاربردهای خاص آن را محدود می کند.

بریلیم در حین ریخته گری دانه های درشتی تشکیل می دهد که باعث تردی و چکش خواری پایین آن می شود؛ به همین دلیل تولید قطعات بریلیم با روش متالورژی پودر انجام می شود.

کاربرد: بریلیم در مواد ساختمانی هوافضا، در قطعات کامپیوتر؛ در راکتور هسته ای و تجهیزاتی که نیازمند سبکی، سفتی و پایداری ابعاد هستند، کاربرد دارد. بیشتر بریلیم به شکل آلیاژ (با محتوای ۲٪ بریلیم) با مس به کار می رود و اهمیت ویژه ای در فنرها دارد زیرا خاصیت فنری و برگشت پذیری بالایی را نشان می دهد.

۷-۷- منیزیم

منیزیم فلزی است سفید نقره ای با چگالی معادل ۱/۷۴ گرم بر سانتیمترمکعب که از این نظر سبکترین فلز صنعتی می باشد. نقطه ذوب آن ۶۵۱ درجه سانتیگراد و نقطه جوش آن ۱۱۰۵ درجه سانتیگراد است. یکی از مشخصات بسیار مهم این عنصر در صنایع ذوب، فشار بخار زیادی است که در شرایط ذوب و آلیاژسازی احتمال تصعید و تبخیر آن را زیاد می کند.

منیزیم در گروه فلزات قلیایی خاکی قرار دارد. فلزات قلیایی بسیار فعال هستند. فلزات قلیایی سبک (شامل منیزیم و بریلیم) هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، چگالی کم و استحکام مناسب برای کاربردهای ساختمانی را نشان می دهند.

اگر چه منیزیم از امتیاز جرم حجمی کمتر نسبت به آلومینیم برخوردار است اما قیمت کمتر، مقاومت خوردگی بهتر، استحکام بالاتر و شکل پذیری بیشتر آلومینیم سبب شده

است تولید جهانی آلومینیم چهل برابر بیشتر از تولید منیزیم باشد.

منیزیم با کمترین جرم حجمی، سبک ترین عنصر فلزی با استحکام کافی و مقاومت خوردگی مناسب برای کاربردهای ساختمانی است. منابع منیزیم در مقادیر زیادی در پوسته زمین و اقیانوس ها وجود دارد. منیزیم به آسانی ریخته گری، ماشینکاری و جوشکاری می شود. منیزیم چکش خواری در دمای بالا، هدایت حرارتی خوب و قابلیت جذب بالایی برای صدا و ارتعاش دارد. فعالیت شیمیایی بالای منیزیم اغلب سبب استفاده آن برای احیاء ترکیبات و حفاظت از خوردگی سایر فلزات می شود.

استانداردهای آلیاژهای منیزیم: با حروف الفبا مشخص میشوند. دو حرف اول مخفف دو عنصر آلیاژی است که با بیشترین غلظت وجود دارند. دو عدد بعدی نشان دهنده درصد این دو عنصر آلیاژی است. نشانه پنجم حرفی است که آلیاژ استاندارد را در محدوده ترکیب مشخص شده با چهار علامت قبلی مشخص میکند. در پایان نشانه عملیات حرارتی مشابه روش استفاده شده در آلومینیم به کار میرود. به عنوان مثال **AZ۹۱** آلیاژ شامل ۹٪ وزنی آلومینیم و ۱٪ وزنی روی است.

آلیاژهای ریخته گری منیزیم :خصوصیات ریخته گری عالی منیزیم ، باعث تولید قطعات بسیاری به این روش شده است. یک سوم کل محصولات منیزیم توسط آلیاژهای ریختگی منیزیم تولید میشوند.

عناصر آلیاژی اضافه شده به منیزیم شامل آلومینیم، نقره، کادمیم، گالیم، لیتیم، سرب، فلزات قلیایی خاکی، ایتریم، روی، زیرکنیم و ... میباشد که در جدول قبل به آنها اشاره شد. به جز آلومینیم و روی بقیه عناصرسمی و یا گران قیمت هستند.

منیزیم معمولاً با استفاده از بوته های فولادی و در قالب های فولادی ریخته گری میشود و این مساله سبب آلوده شدن مذاب توسط آهن می شود که باعث افزایش خوردگی آلیاژ میشود.

منگنز در بسیاری از آلیاژها وجود دارد و آهن را از مذاب خارج میکند. زیرکنیم نیز برای رفع آلودگی های مذاب و نیز به عنوان عنصر آلیاژی به منیزیم اضافه می گردد.

منیزیم و آلیاژهای آن سیالیت بالایی دارند و امکان پر کردن قسمت های بلند و باریک را در قالب فراهم می کند. نقطه ذوب پایین منیزیم (۶۵۰° برای فلز خالص و برای آلیاژها تا حدودی کمتر) امکان استفاده از ریخته گری تحت فشار محفظه گرم را فراهم می سازد. واکنش پذیری کم منیزیم با فولاد در زیر دمای ۷۰۰° استفاده از بوته و قالب های ارزان قیمت فولادی را ممکن میسازد. ریخته گری در ماسه برای قطعات بزرگتر با تعداد کمتر به کار می رود.

آلیاژهای AZ (Al-Zn) : آلیاژهای بسیار معروف **AZ۹۱** شامل ۹٪ وزنی آلومینیم و ۱٪ وزنی روی با مقدار کافی منگنز اضافه شده برای رفع ناخالصی آهن است. آلومینیم قابلیت ریخته گری آلیاژهای منیزیم را افزایش می دهد و استحکام و مقاومت به خوردگی آنها را بهبود می بخشد.

قطعات ریخته گری آلیاژ **AZ** در قالب ماسه ای، به علت سرعت سرد شدن کم، اندازه دانه بزرگی دارند که مطلوب نیست، قطعات ریخته گری تحت فشار آلیاژ **AZ** به دلیل افزایش سرعت انجماد، دانه بندی ظریف تری دارند. با استفاده از اصلاح کننده های مختلف، اندازه دانه قطعات آلیاژی **AZ** کاهش داده میشود.

آلیاژهای AM مثل **AM۶۰** (۶٪ آلومینیم و ۰/۱۵٪ منگنز) چکش خواری بهتری از **AZ۹۱** دارنداما استحکام آنها کمتر است. کاربرد آلیاژ **AM** در قطعات خاص اتومبیل با مقاومت بالا در برابر شکست است.

آلیاژ ZK (Zr-Zn): استحکام آلیاژهای **ZK** بالاتر از آلیاژهای**AZ** است اما ریخته گری آنها دشوارتر میباشد؛ زیرا مستعد تشکیل حفره های ریز در قطعه است. افزودن ۰/۳٪ تا ۱/۵٪ مس باعث کاهش مشکل فوق شده ولی استحکام را کاهش می دهد. به علت تبخیر روی این آلیاژها قابلیت جوشکاری ندارند. افزودن زیرکنیم باعث کاهش اندازه دانه های منیزیم و بهبود استحکام و چکش خواری میشود.

آلیاژهای کار شده منیزیم: این آلیاژها نسبت به آلیاژهای ریختگی کمتر توسعه یافته اند و تعداد کمی از گروههای **AZ**، **ZK** و **ZM** برای محصولات کارشده استفاده می شوند. به

عنوان نمونه AZ۳۱ برای تولید ورق و صفحه به کار می رود. به دلیل این که چکش خواری آلیاژ در دمای اتاق پایین است، عمده تغییر شکل در دمای ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد صورت می گیرد. همان طور که بیان شد منیزیم از آلومینیم گران تر است و آلومینیم راحت تر تغییر شکل می دهد. این دو عامل باعث برتری آلومینیم از نظر هزینه نسبت به منیزیم در تولید قطعات کارشده است. در نتیجه کاربرد محصولات کارشده منیزیم محدود است.

تولید جهانی منیزیم ۵۰۰ هزارتن در سال است که با توجه به چگالی کم این فلز، از نظر حجم تولید قابل مقایسه با بسیاری از فلزات سنگین تر است. ذخایر منیزیم تقریباً نامحدود است و منیزیم از دریاچه ها و چشمه های آب شور و آب دریا استخراج می شود.

۸-۷- تیتانیم

مقدمه: تیتانیم فلز نسبتاً سبکی است با چگالی ۴/۵۴ گرم بر سانتی متر مکعب که بین چگالی آلومینیم (۲/۷۱) و آهن (۷/۸۷) قرار می گیرد. نقطه ذوب تیتانیم ۱۶۶۸ درجه سانتی گراد است که از نقطه ذوب آهن بیشتر است (۱۵۳۶ درجه سانتی گراد).

تیتانیم و آلیاژهای آن از فلزات نسبتاً جدید مهندسی به شمار می روند زیراکاربرد آنها به عنوان فلز ساختمانی از سال ۱۹۵۲ شروع شد. آلیاژهای تیتانیم جاذبهٔ زیادی دارند و علت آن خواصی است از قبیل نسبت بالای استحکام به وزن، حفظ خواص در دماهای بالا تا حدود ۵۵۵ °C و مقاومت عالی در برابر خوردگی، خصوصاً در محیط های اسیدی و اکسیدکننده و محیط های دارای کلر و در اغلب محیط های طبیعی.

آلیاژهای تیتانیم نسبت استحکام به وزن بالا و مقاومت در برابر خوردگی خوبی دارند که در کاربردهای مهندسی از قبیل موتورهای جت و هواپیماهای نظامی مورد توجه قرار دارد. سایر کاربردهای تیتانیم شامل تجهیزات دریایی، لوازم پزشکی، صنایع نفتی است. تقاضای جهانی برای فلز تیتانیم بیش از ۷۵۰۰۰ تن در سال است و قیمت بالای استخراج و تولید مانعی در راه استفاده بیشتر این فلز است. دی اکسید تیتانیم[1] ضریب انعکاس بالاتر از الماس دارد و به عنوان رنگدانه سفید در رنگ ها و پلاستیک ها استفاده می شود. تقاضای بسیار

۱- TiO_2

زیاد برای دی اکسید تیتانیم از میزان تقاضا برای فلز خالص تیتانیم پیشی می گیرد.

متأسفانه تیتانیم و آلیاژهای آن گران تر از فلزهای معمولی است. با وجود این تیتانیم و آلیاژهایش در جاهایی که خواص ویژه آن مورد نیاز است به خوبی با فلزات دیگر رقابت می کنند. مثلاً نسبت استحکام به وزن زیاد و خواص خوب آلیاژهای تیتانیم در دماهای زیاد در صنایع هواپیماسازی در درجه اول اهمیت است. مقاومت عالی تیتانیم به خوردگی، این فلز را به عنوان یکی ازآلیاژهای کارآمد در صنایع شیمیایی و غذایی مطرح می سازد.

کاربردهای تیتانیوم: در هواپیماهای نظامی و مسافربری، پره های کمپرسور و موتور توربین استفاده می شود (شکل ۷-۷). نسبت استحکام به وزن بالا، چقرمگی مناسب و مقاومت در برابر اکسیداسیون خوب از ضروریات کاربرد در این موارد است. به دلیل قیمت بالا، کاربرد تیتانیم محدود می گردد اما از ۵٪ تا ۳۴٪ وزن هواپیماهای جدید از تیتانیم تشکیل شده است. نیمی از تولیدات تیتانیم به شکل آلیاژ تیتانیم- ۶٪ آلومینیم- ۴٪ وانادیم است.

مقاومت در برابر خوردگی تیتانیم آن را فلزی ارزشمند در صنایع نفت و فراوری مواد شیمیایی برای لوله ها، محفظه های واکنش، مبدل های حرارتی، فیلترها و شیرها ساخته است. در تجهیزات پزشکی مانند اتصالات مصنوعی اعضای بدن، دندان کاشتنی (ایمپلنت)[۱]، قاب عینک، دریچه قلب مصنوعی و صندلی چرخ دار از تیتانیم استفاده می شود. لوازم ورزشی و قطعات خودرو از قبیل سوپاپ و اجزای موتور از کاربردهای دیگر تیتانیم هستند.

تیتانیم همچنین به عنوان عنصر آلیاژی به سایر فلزات به ویژه فولاد اضافه می شود. در فولادهای زنگ نزن تیتانیم مقاومت به خوردگی را افزایش می دهد ودر فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا، خواص مکانیکی را بهبود می بخشد.

۱- Implant

شکل ۷-۷- کاربرد تیتانیم و آلیاژهای آن

فلزات دیرگداز:

این گروه از فلزات در برگیرنده ی تنگستن، مولیبدن، نایوبیم، تانتالم، تیتانیم، زیرکونیم، هافنیم، وانادیم، رنیم و کرم است. همه آنها نقطه ذوب بالایی دارند و عمدتاً به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد به کار می روند، اما کاربرد مستقل هم دارند. این فلزات تا حدی در برابر اکسید شدن در دمای بالا مقاوم هستند و بعضی از آنها بسیار سخت هستند و مقاومت سایش و خراش عالی دارند.

۹-۷- وانادیم

تاریخچه: در اواخر قرن نوزدهم کشف شد که با افزودن ۰/۰۵٪ تا ۰/۲ ٪ وانادیم به فولاد استحکام مقاومت شکست آن افزایش می یابد. استفاده از فولاد وانادیم دار به سرعت در اوایل قرن بیستم گسترش یافت. موارد کاربرد شامل فولاد ابزار، قطعات خودرو و صنایع نظامی بود. امروزه ۸۰ درصد مصرف وانادیم در تولید فولاد استفاده می شود. اگرچه وانادیم خالص دارای نقطه ذوب بالاتر و سبک تر از آهن است، تا حدی گران قیمت و سمی است و اکسید محافظ برای کار در دمای بالا ندارد. وانادیم مقاومت در برابر خوردگی خوبی در محلول ها دارد.

مشخصات و کاربرد: وانادیم دارای نقطه ذوب ۱۷۱۵ درجه سانتیگراد، چگالی ۵/۷ گرم

بر سانتی متر مکعب و ضریب انبساط حرارتی کم است. مقاومت در برابر خوردگی خوب در آب دریا و اسیدها دارد اما در دمای بالا مقاومت اکسیداسیون آن ضعیف است. وانادیم و ترکیباتش سمی هستند و نیازمند توجه در کاربرد می باشند. علی رغم مزایای نقطه ذوب بالاتر، چکش خواری بهتر، چگالی پایین تر، مقاومت در برابر خوردگی بیشتر و ضریب انبساط حرارتی کمتر وانادیم نسبت به آهن، به دلیل سمی بودن، تشکیل اکسید با نقطه ذوب پایین و قیمت نسبتاً بالا، قابل رقابت با آلیاژهای ساختمانی نیست. وانادیم خالص کاربرد ساختمانی ندارد.

۱۰-۷-مولیبدن

تاریخچه: تا قبل از جنگ جهانی اول کاربرد کمی داشت اما پس از آن با تقاضای روز افزون برای فولاد استحکام بالا، استفاده از مولیبدن و تنگستن به عنوان عنصر آلیاژی گسترش یافت. مولیبدن خالص، آلیاژ ها و ترکیبات مولیبدن ، مواد ارزان قیمتی برای کاربردهای دما بالا و نیز به عنوان کاتالیست، روانکار، رنگدانه و خاموش کننده آتش فراهم می کنند.

- *خواص:* مولیبدن فلزی است با چگالی ۱۰/۳ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۲۶۰۰ درجه سانتی گراد است. مولیبدن خالص چکش خواری کافی در دمای اتاق دارد و قابلیت شکل دهی و جوشکاری خوبی نیز دارد. عمده کاربرد مولیبدن به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد و سایر فلزات است.

مولیبدن هدایت الکتریکی و حرارتی خوبی دارد و به عنوان هدایت کننده در دماهای خیلی بالاتر از دمای مجاز برای مس، به کار گرفته می شود. در بین همه فلزات با نقطه ذوب بالای ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد، مولیبدن و تنگستن ارزان تر از بقیه هستند. از آنجا که مولیبدن دارای چگالی کمتر می باشد و تولید آن آسان تر از تنگستن است، مولیبدن برای اغلب کاربردهای دمای بالا ترجیح داده می شود.

مولیبدن و آلیاژهای آن با داشتن استحکام در دمای بالا و قابلیت ساخت مناسب با قیمت متوسط؛ متاسفانه در دماهای بالای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به سرعت اکسید می شود و

برای جلوگیری از اکسیداسیون باید در محیط های کنترل شده به کار گرفته شوند یا لایه محافظی (که اغلب $MoSi_2$ است) بر روی آنها پوشش داده شود.

-*کاربرد: مولیبدن به عنوان افزودنی آلیاژی:* مصرف عمده مولیبدن در آلیاژسازی فولاد است. فرومولیبدن قیمت کمتری از مولیبدن خالص دارد و ساده تر در فولاد حل می شود. مولیبدن سختی پذیری، مقاوم به خوردگی و استحکام فولاد را افزایش می دهد . افزودن مولیبدن در فولادهای ابزار و قالب، فولادهای تندبر، چدن خاکستری و فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا مرسوم است. در فولاد زنگ نزن افزودن ۲٪ تا ۴٪ مولیبدن مانع خوردگی می شود و استحکام دمای بالا را افزایش می دهد.

مولیبدن خالص در قالب شکل دهی و پایه نگهدارنده رشته های تنگستن در لامپ های التهابی، قطعات دمای بالا در دستگاه رادار و تولید اشعه **X** ، صفحه های جاذب حرارت در یکسوکننده ها، المنت حرارتی در کوره ها با کارایی تا ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد، تولید و جابجایی شیشه مذاب، لوازم آزمایشگاهی دمای بالا، پوشش پیستون و قطعاتی که در معرض سایش دمای بالاهستند، به کار می رود.

۱۱-۷- تنگستن

تاریخچه: اولین بار فلز تنگستن در اواخر قرن هجدهم تولید شد؛ اما از ابتدای قرن نوزدهم بدون استفاده باقی ماند. تنگستن پس از کشفیاتی که امروزه هم جزء اصلی ترین کاربردهای تنگستن است، کاربرد وسیع مهندسی یافت. در سال ۱۹۰۰، فولاد تندبر حاوی تنگستن ابداع شد. به دنبال آن اولین رشته تنگستن لامپ التهابی در ۱۹۰۳، سیم تنگستن چکش خوار در ۱۹۰۹ و سرمت[1] کاربید تنگستن – کبالت برای کاربرد برش و سایش در ۱۹۲۲ ایجاد شدند.

- *خواص:* تنگستن دارای خواص استثنایی است: بالاترین نقطه ذوب در بین همه فلزات۳۳۷۰ درجه سانتی گراد، استحکام بالا، سفتی بالا، چگالی بالا ۱۹ گرم بر سانتی متر مکعب، ضریب انبساط حرارتی پایین، قیمت متوسط و سمی نبودن. همین امر موجب

۱- ماده مرکب سرامیک- فلز را به اختصار سرمت می گویند. (**Cermet=ceramic+metal**)

کاربردهای مختلف و خاص فلز تنگستن شده است. تنگستن خالص در دمای اتاق ترد است اما در دمای بالا، چکش خوار می شود. تنگستن در دمای اتاق در هوا پایدار است اما در دمای بالا ۵۵۰ درجه سانتی گراد اکسید تنگستن تشکیل شده روی سطح، تبخیر می شود. از این رو قطعات تنگستن نیاز به کار در محیط کنترل شده یا شرایط خلاء و یا حفاظت توسط پوشش دارند.

-*کاربرد*: ۰/۵ تا ۱۸٪ تنگستن در فولادهای تندبر (برای ابزار برشی) برای افزایش سختی وجود دارد. تنگستن استحکام گرم (دمای بالا) فولاد را بهبود می بخشد. تنگستن به صورت خالص یا فروتنگستن به مذاب فولاد اضافه می گردد. یک چهارم تولیدات تنگستن در این قسمت مصرف می شود.

تنگستن خالص در المنت های حرارتی کوره، اتصالات الکتریکی، نازل موشک، ترموکوپل، الکترود جوشکاری و قطعات با کارکرد دمای بالا، وزنه تعادل، حفاظت از تشعشع و در تولید اشعه **X** کاربرد دارد.

نصف تولید تنگستن برای ساخت کاربید تنگستن جهت کاربردهای برشی و سایشی مصرف می شود. کاربید تنگستن اگرچه یک فلز نیست اما اغلب فلز سخت[1] نامیده می شود. کاربرد آن در اره ها، مته ها، ابزار برش و ماشینکاری، ابزار حفاری معدن و نفت، چرخ سمباده و پوشش مقاوم به سایش است.

فلزات فروآلیاژ:

این گروه شامل کرم، منگنز، سیلیسیم و بر است. آنها در ابتدا عمدتاً به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد به کار می رفتند اما اکنون کاربرد مستقل هم دارند.

۱۲-۷- کرم

تاریخچه: کرم فلزی است با چگالی ۷/۲ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۱۹۰۳ درجه سانتی گراد است. در طی قرن نوزدهم و بیستم، توسعه کرم کاملاً مرتبط با

۱- **hard metal**

پیشرفت فولادسازی بود. افزودن ۱٪ کرم به فولاد، سختی پذیری آن را بهبود می بخشد. هنگامی که محتوای کرم در فولاد بیش از ۱۱٪ باشد، لایه اکسید چسبنده، روی سطح شکل می گیرد که فلز را از خوردگی در بسیاری از محلول ها حفاظت می کند و نیز مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا را به شدت بهبود می بخشد.کرم بیشتر به صورت فروکرم، آلیاژ شامل ۴۵ تا ۹۵٪ کرم و ۰/۰۱ تا ۱۰٪ کربن، تولید می شود و به عنوان افزودنی آلیاژساز در فولاد به کار می رود. ۸۵٪ کرم تولیدی در کارخانجات فولاد مصرف می شود که بر سایر کاربردهای کرم غالب است. رشد تقاضای جهانی برای کرم وترکیبات آن، همگام با افزایش مصرف آن در ساخت فولاد زنگ نزن، بالا رفته و به ۲۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ رسید.

کاربرد؛ فروکرم: تقریباً ۵ میلیون تن در سال فروکرم برای آلیاژسازی به فولاد افزوده می شود. افزودن ۰/۲٪ تا ۱/۵٪ سختی پذیری فولاد را افزایش می دهد. برای ایجاد لایه اکسید محافظ Cr_2O_3 در سطح فولاد (زنگ نزن) محتوای کرم بیش از ۱۱٪ مورد نیاز است. کرم سختی پذیری، چقرمگی، مقاومت به سایش و خوردگی فولاد را بهبود می بخشد.

کرم در غیرآهنی ها: کرم افزودنی آلیاژی مهمی در آلیاژهای نیکل، آلومینیم، مس و تیتانیم است. کرم باعث افزایش استحکام و مقاومت در برابر اکسیداسیون است.

پوشش کرم: آبکاری کرم روی فولاد، آلومینیم و دیگر مواد موجب بهبود ظاهر، حفاظت از خوردگی، سخت کردن در مقابل سایش و کاهش ضریب اصطکاک آنها می شود.

اکسید کرم درآجرهای نسوز، کارخانجات شیمیایی، آلیاژهای نیکل و مس، پوشش ها و لایه ها کاربرد دارد. سایر ترکیبات کرم در رنگدانه ها، چرم سازی، ممانعت کننده های خوردگی، گل حفاری و کاتالیست ها به کار می روند.

۱۳-۷- منگنز

تاریخچه: منگنز فلزی است با چگالی ۷/۴ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۱۲۵۰ درجه سانتی گراد است. با ابداع روش فولادسازی بسمر در ۱۸۶۰، منگنز به طور وسیعی برای حذف اکسیژن و گوگرد در فولاد به کار رفت. منگنز مقام پنجم را در تولید

سالیانه (پس از فولاد، آلومینیم،مس، روی) دارد.

خواص: منگنز فلزی سخت و ترد است و مقاومت الکتریکی بالایی دارد. منگنز با همه اسیدهای معدنی واکنش می دهد. ذرات بسیار ریز منگنز آتش گیر است و در واکنش با اکسیژن و نیتروژن هوا می سوزد.

پودر فلز منگنز در الکترودهای جوشکاری و مواد کمک ذوب وجود دارد. منگنز عنصر آلیاژی برای فولاد، آلومینیم، مس و منیزیم است. ترکیبات منگنز کاربردهای گسترده مهندسی در باتری های خشک، عامل اکسید کننده در فرایند شیمیایی، رنگدانه سرامیک، افزودنی های غذا، تصفیه آب و فاضلاب دارد.

کاربرد: هنگامی که منگنز به فولاد اضافه می شود، منگنز به طور ترجیحی با اکسیژن واکنش می دهد و از ایجاد تخلخل های گازی در فولاد جلوگیری می کند. منگنز همچنین با گوگرد تشکیل رسوبات پراکنده سولفید منگنز (**MnS**) می دهد و مانع از تشکیل سولفید آهن (**FeS**) می شود. سولفید آهن باعث تردی و شکست زود هنگام فولاد می گردد. در نتیجه منگنز سختی پذیری فولاد را افزایش و استحکام فولاد را بالا می برد. فولاد و چدن معمولاً شامل ۰/۳ تا ۱٪ منگنز است و با توجه به تولید بسیار زیاد فلزات آهنی (۹۰۰ میلیون تن در سال)، چندین میلیون تن منگنز هر ساله برای آلیاژسازی فولاد و چدن مصرف می شود. منگنز معمولاً به دو صورت به فولاد اضافه می گردد: فرومنگنز (۸۰٪ منگنز و ۲۰٪ آهن) یا سیلیکو منگنز (**۵۵**٪ منگنز، ۲۵٪ سیلیسیم و**۲۰**٪ آهن).

فولاد هادفیلد فولاد کربن بالا- منگنز بالا است؛ ترکیب این فولاد ۱۲٪ منگنز و ۱/۱٪ کربن است که استحکام و چقرمگی بالا دارد و در اثر ضربه و نیروهای وارده به شدت سخت می شود. این فولاد برای دستگاه حفاری و لایروبی به کار می رود.

فلزات گرانبها:

فلزات طلا، نقره، و شش فلز گروه پلاتین یعنی پلاتین، اوسمیم، ایریدیم، روتنیم، رودیم، پالادیم در این مجموعه قرار می گیرند. آنها خواص مشترکی دارند: زنگ نمی زنند، قیمت بالایی دارند.

۱۴-۷- پلاتین

تاریخچه: پلاتین به همراه عناصر دیگری از جمله رادیم، روتنیم، پالادیم، ایریدیم، رودیم و اوسمیم در یک گروه قرار می گیرند. گروه پلاتین، چگال، دیرگداز و مقاوم به اکسیداسیون هستند. آنها کمیاب ترین عناصر در پوسته زمین هستند و همین دلیل باعث گرانی قیمت آنها است. هدایت الکتریکی نسبتاً خوب و مقاوم در برابر اکسیداسیون و خوردگی خوب دارند. کاربردشان در کاتالیست، جواهرات، شیشه سازی و صنایع الکترونیک است.

پلاتین از جمله چگال ترین فلزات است. چگالی آن ۲۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب و نقطه ذوب آن ۱۷۷۰ درجه سانتی گراد است. پلاتین نرم و چکش خوار است. مقاومت در برابر خوردگی و اکسیداسیون فوق العاده ای دارد. پلاتین و بعضی از آلیاژهای آن تنها فلزاتی هستند که در هوا و دمای بالای ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد بدون پوشش محافظ می توانند مدت طولانی دوام بیاورند. این آلیاژها برای کاربرد دمای بالا در ترموکوپل ها، مواد در تماس با شیشه مذاب استفاده می شوند.

کاربردها: قیمت بالای گروه پلاتین، کاربرد آنها را محدود کرده است؛ اما خواص استثنایی کاتالیستی و مقاومت خوردگی آنها باعث مصارف ویژه ای برای آنها شده است. سازندگان جواهر و کارخانه های تولید کننده کاتالیست موتورهای خودرو، هر کدام یک سوم پلاتین تولیدی جهان را مصرف می کنند. کاربردهای دیگر پلاتین شامل ترموکوپل، آلیاژهای مغناطیسی پلاتین- کبالت برای دیسک های کامپیوتر، آلیاژهای دندان سازی، مواد کاشتنی در بدن و لوازم جراحی، پوشش پره توربین و تجهیزات دقیق فلزی است.

۱۵-۷- طلا

طلا فلزی است با چگالی ۱۹/۲ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۱۰۶۳ درجه سانتی گراد است.

تاریخچه: طلا، نقره و مس از معدود عناصری هستند که به حالت خالص در پوسته زمین وجود دارند. به همین دلیل، آنها اولین فلزاتی هستند که به وسیله بشر کشف و استفاده

شدند. مقادیری از تزئینات فلزی طلا به صورت کار شده متعلق به انسانهای عصر سنگ در غارها کشف شده است. در تمدنهای قدیمی مدیترانه، آلیاژی به نام الکتروم[1] کاربرد داشته که مخلوط طبیعی طلا و نقره است. عناصر این گروه مقاومت در برابر خوردگی خوب و هدایت الکتریکی و حرارتی عالی دارند. هدایت بالا، مقاومت در برابر اکسیداسیون، چکش خواری و رنگ آنها، این فلزات را برای کاربردهای وسیعی از جمله سیم، لوله های خاص، جواهرات، فیلم عکاسی و باتری ها مناسب می سازد.

فراوانی طلا و نقره کم است و فلز خالص طلا و نقره به صورت ذرات بسیار ریز در طبیعت یافت می گردد.

طلا هدایت الکتریکی و حرارتی بالا و مقاومت در برابر اکسیداسیون و چکش خواری عالی دارد. ساخت جواهرات با بیش از ۲۰۰۰ تن نزدیک به ۹۰٪ تولید جهانی طلا را هر ساله مصرف می کند. طلای خالص استحکام کم و مقاومت سایش ضعیفی دارد؛ اما آلیاژهای جواهر سازی با حفظ رنگ، شکل پذیری و مقاومت در برابر خوردگی باعث بهبود استحکام می شوند. آلیاژهای طلا با نقره، پالادیم و مس در صنایع الکترونیک کاربرد دارد. طلا بیش از ۳۰۰۰ سال است که در دندان پزشکی استفاده می شود. آلیاژهای طلا شامل نقره، پلاتین، پالادیم، ایندیم و قلع در دندان پزشکی کاربرد دارد.

۱۶-۷- نقره

نقره فلزی است با چگالی ۱۰/۵ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۹۶۰ درجه سانتی گراد است. نقره اغلب به عنوان محصول جانبی عملیات استخراج فلزاتی مثل سرب، روی، مس و طلا تولید می شود.

-*کاربرد:* نقره پرداخت شده، بازتاب نور ۹۵٪ دارد و این بازتاب بر خلاف طلا و مس بدون رنگ است. همین امر موجب کاربرد کلمه *نقره ای* برای انعکاس کامل نور شده است. قبل از استفاده گسترده آلومینیم، نقره ماده منتخب برای تلسکوپ، چراغ دریایی و آیینه ها بود. برخلاف فلزات فعالی مثل آلومینیم و تیتانیم که مقاومت اکسیداسیون آنها مربوط به

۱- electrom

لایه های اکسید غیر قابل نفوذ است، نقره ذاتاً مقاوم به اکسیداسیون می باشد.

نقره بعد از طلا دومین فلز چکش خوار است. نقره بالاترین هدایت الکتریکی و حرارتی را در بین فلزات دارد. به دلیل قیمت بالاتر نسبت به مس، سیم های الکتریکی و مبدل های حرارتی کمتر از نقره ساخته می شوند. نقره به طور عمده برای کلید اتصال الکتریکی کاربرد دارد؛ که علت آن هدایت بالا و سطح تقریباً عاری از لایه اکسید می باشد. نقره برای ماده یاتاقان عالی است زیرا پخش سریع حرارت، عمر کاری را طولانی می کند.

تا سال ۱۹۶۰ سکه های نقره ای به عنوان پول رایج، کاربرد وسیعی داشت؛ اما با بالا رفتن قیمت نقره این کاربرد پایان یافت. استفاده تجاری نقره شامل سه قسمت است که هر کدام یک سوم تولید سالیانه نقره را مصرف می کنند: (۱) جواهرات، پوشش های نقره، سکه و مدال ها؛ (۲) ترکیبات نقره برای عکاسی و (۳) کاربرد صنعتی و درمانی که شامل کلیدهای اتصال، باتری ها، کاتالیست ها، مواد دندان پزشکی، یاتاقان و آلیاژهای لحیم کاری است.

کلید های اتصال از صفحه کلید کامپیوتر تا خودرو، از تولید نیروی برق تا وسایل حمل و نقل کاربرد دارد. کلیدهای اتصال برای هدایت جریان الکتریکی و قطع آن با باز و بسته کردن کلید به کار می رود. نقره به دلیل هدایت الکتریکی و حرارتی و مقاومت در برابر اکسیداسیون در کلیدهای اتصال کاربرد وسیعی دارد؛ اما نقطه ذوب پایین و خسارت ناشی از قوس، مانع استفاده نقره خالص در کلیدهای با شدت جریان بالا می گردد. نقره با مس، پلاتین، کادمیم و پالادیم آلیاژ می شود تا استحکام و سختی آن افزایش یابد. مواد مرکب که شامل زمینه ای از نقره خالص با ذرات دیرگدازی مثل مولیبدن، تنگستن و کاربید تنگستن است، هدایت عالی نقره را با مقاومت مواد دیرگداز در برابر خسارت قوس الکتریکی ترکیب می کند.

آمالگام (ملقمه) نقره که برای پر کردن دندان به کار می رود آلیاژی شامل ۷۰٪ نقره، ۲۵٪ قلع و ۵٪ مس و روی است. آلیاژ نقره- مس- روی برای لحیم کاری سخت و آلیاژهای قلع- نقره و قلع- نقره- مس در لحیم کاری نرم به کار می روند. باتری های نقره- روی انرژی خروجی بالاتر و عمر کاری کمتر از باتری های نیکل- کادمیم دارند. یاتاقان های

نقره شامل سرب، قلع و ایندیم است. کاربرد صنعتی و پزشکی اشعه X برای مشاهده نقص های درونی مواد مهندسی و اجزای داخلی بدن، مستلزم استفاده از فیلمهای نقرهای است. واکنش ضعیف نقره با اکسیژن، آن را به عنوان یک کاتالیست عالی برای تولید مواد شیمیایی مختلف مطرح می سازد.

جدول ۴-۷ نامهای قدیمی و تاریخی بعضی عناصر را نشان می دهد.

جدول ۴-۷: نام های قدیمی و تاریخی عناصر

نام فلز	اختصار	نام استاندارد	نام قدیمی
نقره	Ag	Silver	Argentum
طلا	Au	Gold	Aurum
مس	Cu	Copper	Cuprum
نایوبیم	Nb	Niobium	Columbium (Cb)
آهن	Fe	Iron	Ferrum
جیوه	Hg	Mercury	Hydrargyrum
وانادیم	V	Vanadium	Erythronium و Panchromium
سرب	Pb	Lead	Plumbum
قلع	Sn	Tin	Stannum
تنگستن	W	Tungsten	Wolfram
آنتیموان	Sb	Antimony	Stibium
سدیم	Na	Sodium	Natrium
پتاسیم	K	Potassium	Kalium
بریلیم	Be	Beryllium	Glucinium (Gl)

خودآزمایی:

۱-تاثیر افزودن نیکل به فولاد چیست؟ کاربرد آلیاژ حاصل را بنویسید.سوپرآلیاژ چیست؟ چه خواص و کاربردی دارد؟

۲-مصرف عمده روی در صنایع به چه صورت است؟ توضیح دهید.

۳-روش پوشش روی (گالوانیزه غوطه وری گرم) در سطح قطعات را بنویسید، پوشش روی چه خصوصیاتی دارد؟

۴-کاربرد عمده سرب در حال حاضر در کدام صنعت است؟ چرا مصرف سرب رو به کاهش است؟

۵-صفحات قلع اندود در ساخت چه قطعاتی کاربرد دارند؟

۶-خصوصیات یاتاقان های آلیاژ قلع را بنویسید.

۷-کاربرد جیوه (که در دمای محیط به صورت مایع است) در کدام صنایع است؟

۸-چه خواصی موجب کاربرد بریلیم در صنایع هوایی می شود؟ چه عواملی کاربرد بریلیم را محدود می کند؟

۹-با توجه به خواصی مثل جرم حجمی کمتر منیزیم نسبت به آلومینیم، چرا تولید سالانه منیزیم بسیار کمتر از آلومینیم است؟ (چهار عامل را نام ببرید)

۱۰-چهار مورد از خصوصیات ویژه تیتانیم و کاربردهای متناسب با آن را بنویسید.

۱۱-تاثیر افزودن وانادیم به فولاد و چدن را بنویسید.

۱۲-خواص وانادیم و آهن را مقایسه کنید و علت کاربرد کم وانادیم را در مقایسه با آهن توجیه کنید.

۱۳-انتخاب مولیبدن و تنگستن در فلزات بالای نقطه ذوب بالای ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد، توسط چه عواملی کنترل می شود؟

۱۴-آیا فلز سخت (کاربید تنگستن) یک فلز است؟ کاربردهای آن را بنویسید.

۱۵-کرم به عنوان عنصر آلیاژی چه تاثیری بر رفتار فولاد دارد؟

۱۶-منگنز چگونه مانع شکست زود هنگام فولاد می گردد؟

۱۷-چه خصوصیاتی باعث کاربرد ویژه پلاتین و آلیاژهای آن می شود؟ (سه مورد را بنویسید)

۱۸-دلایل کاربرد آلیاژهای طلا را در صنعت و پزشکی بنویسید؟

۱۹-سه مورد از استفاده تجاری نقره را ذکر کنید.