

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شناخت فلزات

رشته متالورژی

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه ای

شماره درس ۲۳۴۱

۶۶۹	خلج، غلامرضا
ش ۶۶۳/خ	شناخت فلزات/ مؤلفان: غلامرضا خلج، امیر ریاحی. — تهران: شرکت چاپ و نشر
۱۳۹۴	کتابهای درسی ایران، ۱۳۹۴.
	۲۲۲ ص. : مصور. — (آموزش فنی و حرفه ای؛ شماره درس ۲۳۴۱)
	متون درسی رشته متالورژی، زمینه صنعت.
	برنامه ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه ریزی و تألیف کتابهای
	درسی رشته متالورژی دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه ای و کاردانش وزارت آموزش
	و پرورش.
	۱. فلزها. ۲. متالوگرافی. الف. ریاحی، امیر. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش.
	کمیسیون برنامه ریزی و تألیف کتابهای درسی رشته متالورژی. ج. عنوان. د. فروست.

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

پیشنهادها و نظرهای خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتابهای درسی
فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

tvoccd@medu.ir

پیام‌نگار (ایمیل)

www.tvoccd.medu.ir

وب‌گاه (وب‌سایت)

محتوای این کتاب در کمیسیون تخصصی رشته متالورژی دفتر تألیف کتابهای
درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش تأیید شده است.

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب : شناخت فلزات - ۳۵۹/۶۱

مؤلفان : غلامرضا خلیج، امیرریاحی

نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا و طراح جلد : امیرریاحی

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

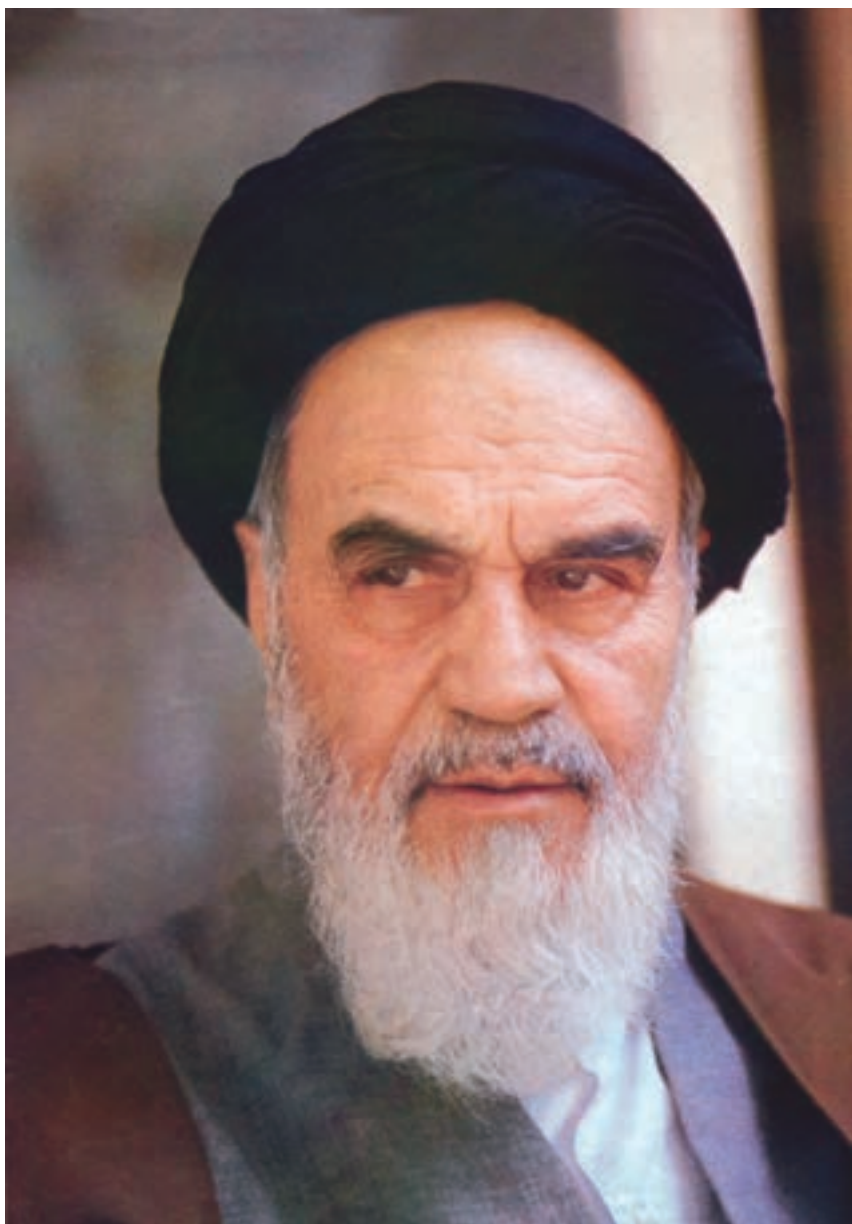
تلفن : ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ پنجم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹۶۴-۰۵-۱۸۹۵-۳ ISBN 964-05-1895-3



اول باید اخلاصتان را قوی بکنید، ایمانتان را قوی بکنید، ... و این
اخلاص و ایمان، شما را تقویت می کند و روحیه شما را بالا می برد و نیروی
شما جوری می شود که هیچ قدرتی نمی تواند (با شما) مقابله کند.

امام خمینی (ره)

فهرست

مقدمه

۲ پیشگفتار

۴ تاریخچه مواد

۷ فصل اول استخراج سنگ معدن فلزات

۸ ۱-۱- چگونگی پیدایش معادن

۱۰ ۱-۲- اکتشاف معادن

۱۳ ۱-۳- استخراج معادن

۱۳ ۱-۳-۱- استخراج به طریقهٔ روباز

۱۶ ۱-۳-۲- استخراج معادن زیرزمینی

۱۸ ۱-۴- تهیه و تغلیظ مواد معدنی (کانه آرایه)

۱۹ ۱-۵- خرد کردن سنگ معدن و تفکیک آن

۲۰ ۱-۶- روشهای تفکیک و جداسازی کانی ها از یکدیگر

۲۲ ۱-۷- عملیات مقدماتی استخراج فلزات

۲۲ ۱-۷-۱- خشک کردن

۲۲ ۱-۷-۲- تکلیس

۲۳ ۱-۷-۳- تشویه

۲۳ ۱-۷-۴- آگلومراسیون

۲۴ خودآزمایی

۲۶ فصل دوم استخراج آهن از سنگ معدن

۲۹ ۲-۱- استخراج آهن به روش غیرمستقیم

۳۷ ۲-۲- استخراج آهن به روش مستقیم

۴۲	خودآزمایی
۴۳	فصل سوم چدن ها
۴۴	۳-۱- تولید چدن از آهن خام
۴۹	۳-۲- انواع چدن ها
۴۹	۳-۲-۱- چدن سفید
۵۱	۳-۲-۲- چدن خاکستری
۵۶	۳-۲-۳- چدن چکش خوار(مالیبل)
۵۷	۳-۲-۴- چدن با گرافیت فشرده
۶۱	۳-۲-۵- چدن نشکن
۶۲	خودآزمایی
۶۳	فصل چهارم فولادها
۶۳	۴-۱- تولید فولاد از آهن خام
۶۴	۴-۱-۱- روش توماس- بسمر
۶۶	۴-۱-۲- روش زیمنس- مارتین
۶۷	۴-۱-۳- روش کوره دمش اکسیژن (L-D)
۶۹	۴-۱-۴- کوره قوس الکتریکی
۷۲	۴-۲- انواع فولادها
۷۲	۴-۲-۱- فولادهای ساده کربنی
۷۵	۴-۲-۲- فولادهای آلیاژی
۸۴	خودآزمایی
۸۵	فصل پنجم آلومینیم و آلیاژهای آن
۸۷	۵-۱- خواص و کاربردهای آلومینیم
۹۰	۵-۲- استخراج آلومینیم

۹۱	۱-۲-۵-فرایند بایر برای تولید اکسید آلومینیم خالص
۹۲	۲-۲-۵-الکترولیز (احیا و ذوب)
۹۴	۳-۵-آلیاژهای آلومینیم
۹۴	۱-۳-۵-آلومینیم خالص تجاری
۹۵	۲-۳-۵-آلومینیم- مس
۹۶	۳-۳-۵-آلومینیم- سیلیسیم
۹۷	۴-۳-۵-آلومینیم- سیلیسیم- مس
۹۸	۵-۳-۵-آلومینیم- منیزیم
۹۸	۴-۵-استانداردهای آلیاژهای آلومینیم
۱۰۵	خودآزمایی
۱۰۶	فصل ششم مس و آلیاژهای آن
۱۰۷	۱-۶-خواص و کاربرد مس
۱۰۹	۲-۶-استخراج مس
۱۱۱	۳-۶-دسته بندی آلیاژهای مس
۱۱۲	۱-۳-۶- مس الکترولیز شده
۱۱۲	۲-۳-۶- مس های آلیاژی
۱۱۳	۳-۳-۶- برنج ها
۱۱۴	۴-۳-۶- مفرغ
۱۱۵	۵-۳-۶-آلومینیم برنز
۱۱۵	۶-۳-۶-آلیاژهای متفرقه
۱۱۷	۴-۶-استاندارد طبقه بندی مس و آلیاژهای مس
۱۲۳	خودآزمایی
۱۲۴	فصل هفتم سایر فلزات و آلیاژهای صنعتی

۱۲۶	۷-۱- نیکل
۱۳۰	۷-۲- روی
۱۳۴	۷-۳- سرب
۱۳۵	۷-۴- قلع
۱۳۸	۷-۵- جیوه
۱۳۸	۷-۶- بریلیم
۱۳۹	۷-۷- منیزیم
۱۴۲	۷-۸- تیتانیم
۱۴۴	۷-۹- وانادیم
۱۴۵	۷-۱۰- مولیبدن
۱۴۶	۷-۱۱- تنگستن
۱۴۷	۷-۱۲- کرم
۱۴۸	۷-۱۳- منگنز
۱۵۰	۷-۱۴- پلاتین
۱۵۰	۷-۱۵- طلا
۱۵۱	۷-۱۶- نقره
۱۵۴	خودآزمایی

فصل هشتم خوردگی و روش های جلوگیری از آن

۱۵۶	۸-۱- انواع خوردگی فلزات
۱۵۶	۸-۱-۱- خوردگی شیمیایی
۱۵۷	۸-۱-۲- خوردگی الکتروشیمیایی
۱۵۸	۸-۲- مقاومت مواد فلزی در مقابل خوردگی
۱۶۰	۸-۳- محافظت فلزات در مقابل خوردگی

۱۶۰	۱-۳-۸-عوامل طراحی
۱۶۱	۲-۳-۸-انتخاب مواد از نظر خواص
۱۶۲	۳-۳-۸-ایجاد تغییرات مناسب در محیط خورنده
۱۶۳	۴-۳-۸-پوشش دادن
۱۷۲	خودآزمایی
۱۷۳	فصل نهم کامپوزیت ها و نانو مواد
۱۷۳	۱-۹-کامپوزیت ها
۱۸۱	۲-۹-نانو فلزات
۱۹۲	خودآزمایی
۱۹۳	فصل دهم (پیوست ها) نرم بندی فلزات و آلیاژهای آهنی و غیر آهنی
۱۹۳	۱-۱۰-نرم بندی فولادها
۱۹۳	۱-۱۰-۱-علائم بخش عناصر تشکیل دهنده
۲۰۰	۲-۱۰-۱-بخش روش تولید
۲۰۱	۳-۱۰-۱-بخش عملیات انجام شده
۲۰۱	۲-۱۰-نرم بندی فولادهای ریختگی
۲۰۲	۳-۱۰-نرم بندی چدن ها
۲۰۳	۴-۱۰-شماره گذاری مواد طبق دین ۱۷۰۰۷ آلمان
۲۰۴	۱-۱۰-۴-گروه اصلی مواد
۲۰۴	۲-۱۰-۴-شاخص نوع
۲۰۷	۳-۱۰-۴-اعداد ضمیمه
۲۰۸	۵-۱۰-نرم بندی فولادها طبق استاندارد اروپا
۲۰۸	۱-۱۰-۵-فولادهای پایه
۲۰۸	۲-۱۰-۵-فولادهای کیفی

۲۰۹	۳-۵-۱۰- فولادهای نجیب
۲۰۹	۴-۵-۱۰- نرم بندی فولادها برحسب خواص مکانیکی
۲۱۰	۵-۵-۱۰- نرم بندی فولادها بر اساس اهداف کاربردی
۲۱۱	۶-۵-۱۰- نرم بندی فولاد بر اساس کیفیت های مخصوص
۲۱۲	۷-۵-۱۰- نرم بندی فولادها بر اساس ترکیب شیمیایی
۲۱۵	۶-۱۰- نرم بندی فلزات غیر آهنی و آلیاژهای آنها
۲۱۵	۱-۶-۱۰- نرم بندی فلزات غیر آهنی
۲۱۵	۷-۱۰- نرم بندی آلیاژهای فلزات غیر آهنی
۲۱۸	۱-۷-۱۰- علائم بخش روش تولید و کاربرد
۲۱۹	۲-۷-۱۰- علائم بخش عناصر تشکیل دهنده
۲۱۹	۳-۷-۱۰- علائم بخش خواص ویژه
۲۲۲	مراجع

مقدمه

کتاب "شناخت فلزات" برای هنرجویان پایه دوم رشته متالورژی شاخه فنی و حرفه ای به رشته تحریر درآمده است و در تألیف این کتاب مطالب به سبکی روان و گویا به گونه ای بیان شده است که علاوه بر انطباق متن با برنامه درسی و جدول هدف-محتوی، حیطه های یادگیری و طبقات مربوط به آن، هنرجویان می توانند شناخت کافی از فلزات آهنی و غیرآهنی و فرآیندهای گوناگونی که در مراحل مختلف استخراج، فراوری، تولید و خوردگی و روش های جلوگیری از آن روی می دهد و همچنین مواد جدید شامل کامپوزیت و نانو مواد بدست آورند. کتاب "شناخت فلزات" شامل فصول: استخراج سنگ معدن فلزات، استخراج آهن از سنگ معدن، چدن ها، فولادها، آلومینیم و آلیاژهای آن، مس و آلیاژهای آن، سایر فلزات و آلیاژهای صنعتی، خوردگی و روش های جلوگیری از آن، کامپوزیت ها و نانو مواد می باشد و در پایان پیوست هایی شامل نرم بندی آلیاژهای آهنی و غیر آهنی جهت دانش افزایی هنرجویان و کاربرد در صنایع ارائه شده است. در تألیف این کتاب حتی الامکان سعی شده است مطالب عاری از عیب و نقص باشد از طرفی چون در خلال تدریس کمبودهای کتاب آشکار می شود لذا از کلیه همکاران که با مواردی از اشکال و ابهام روبرو می شوند تقاضا می شود که کمیسیون تخصصی رشته متالورژی دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش را مطلع سازند تا راهنمایی های آنان در چاپ های آینده در نظر گرفته شود. در خاتمه توفیق هرچه بیشتر همکاران گرامی را در انجام رسالت خطیر تعلیم و تربیت از خداوند بزرگ مسئلت می نماییم.

مؤلفان

هدف کلی کتاب:

آشنایی و شناخت هنرجویان با استخراج، آلیاژهای آهنی و
غیر آهنی، خوردگی فلزات و مواد جدید

پیش گفتار: صنعت فلز کاری

شواهد و مدارک باستانشناسی این نکته را تائید می کند که شمال و مرکز ایران جزو قدیمی ترین مراکز صنایع فلزکاری جهان بوده است. آشکار است که بشر تنها در سرزمینی می توانست به سودمندی فلز پی ببرد که در آن فلزات و کانیهای آنها وجود داشته باشد. ایران از لحاظ طبیعی دارای ذخایر بزرگی از کانی ها است. در شمال ایران یک رشته معادن مس از قفقاز تا پامیر کشیده شده است. ابن حوقل، جغرافی دان عرب از معادن مس کان صبی زاوه، سبزوار و فخر داود نزدیک مشهد و بخارا در ماوراءالنهر صحبت می کند. معادن مس کاشان، انارک، اصفهان و بخارا برای خلفای اسلامی مقارن قرن نهم مسیحی بسیار با اهمیت بود، زیرا از این معادن هر ساله بیش از ۱۰۰۰۰ دینار خراج حاصل می گردید.

می توانیم چنین تصور کنیم که صنعتگران قدیم برای به دست آوردن مس انواع سنگهای فلزی را آزمایش کرده اند و بدین ترتیب تصادفاً آلیاژهای مس را تولید کرده اند. در نیمه ی دوم هزاره ی سوم پیش از مسیح کاربرد فلز رو به افزایش گذاشت. از گورستان شوش، تپه حصار، تپه گیان و تپه گئوی ابزار مفرغی و زینت آلات مفرغی و نقره ای زیاد به دست می آید. گذار از عصر سنگ به مس بسیار تدریجی بود ولی در ایران عصر مفرغ در ۲۰۰۰ سال پیش از مسیح بخوبی پیشرفت کرده بود.

بطوری که از روایات آشوریان برمی آید ایران در هزاره ی اول پیش از مسیح محل تهیه فلزات مختلف بود. کاربرد روز افزون آهن در هزاره ی اول در بنیاد اقتصادی جامعه اثر بسیاری داشت.

اگر درباره مفرغ های لرستان، که در نواحی کوهستان های باختری ایران است، مختصری گفتگو نشود، شرحی که ما در بالا درباره مفرغ و آهن ایران داده ایم، کامل نخواهد شد. تقریباً از سال ۱۹۳۰ به بعد تعداد زیادی اشیای فلزی زیبا در بازار عتیقه فروشان جهان ارائه می شد که توسط خاک برداران غیر مجاز قاچاق گورستان های قدیمی پیدا شده بود، این عده توجه کرده بودند که مقبره هایی که دور و بر آنها به دقت

با سنگ مفروش شده دارای زیور آلات و هدایایی است که با مردگان روزگاران کهن، که تا کنون تمدن آنها ناشناخته مانده است، دفن شده اند. طرح و هنرهای دستی که روی این اشیاء بکار رفته چنان زیبا و دل انگیز و عالیست که کارشناسان را به شگفتی آورده است. پاره ای از این اشیاء دارای حروف آشوری است که تاریخ و ساخت آن ها را کاملاً مشخص می کند. چند تا از آنها متعلق به سده ی دوازدهم و دهم پیش از مسیح است، اما اکثراً به سده های هشتم و هفتم پیش از مسیح تعلق دارند. در فرهنگ مادی جهان باستان به ندرت می توان قطعاتی مانند مفرغ های لرستان دارای طرح و ترکیبی چنین پیچیده و پیشرفته یافت. نفوذ زیاد تمدن آشوری ها، هیتیت ها، حورانی ها و حتی سکاها را می توان در این اشیاء دید؛ ولی شکل و چهره ی بسیاری از طرحهای تپه سیلک نیز در آنها به خوبی نمایان است. هنرمندان و صنعتگران لرستان در مفرغ ریزی استادی تام یافته و همچنین فن آهن کاری را هم آغاز کرده بودند. گویا بسیاری از اشیای مفرغی به شیوه ی ریخته گری دقیق با قالبگیری مومی ریخته شده است. این اشیاء از لحاظ نمایاندن جزئیات کار، شکل و زیبایی چنان هستند که تنها با شیوه ی ریخته گری بالا می توان آنها را تهیه کرد.

فراورده های فلزی ساسانیان در روزهای تیره و تار عصر تاریک اروپا به ویژه از طریق بیزانس به آن قاره وارد شد و به گونه ای که روش فنی ما را تحت نفوذ قرار داد. آنچه را که ما امروز هنر اسلامی می نامیم در اصل بر پایه ی سنت و مهارت و استادی صنعتگران ساسانی است.

در آغاز سده ی نهم میلادی اکثر ایرانیان مسلمان شده بودند. اسلام نیروی الهام بخش جدیدی شد. نفوذ ایرانیان در صنعت و هنر با عناصر بیزانسی در بغداد به هم آمیخت و در سراسر قلمرو اسلام گسترش یافت؛ و از یک طرف از خاورمیانه تا اسپانیا و سوی دیگر در آسیا تا مرزهای چین و هند کشیده شد. در عوض هنر ایرانی از سبکها و روش های کشورهای که در آن نفوذ کرده بود توانگر و برخوردار گردید و حامیان درجه اول صنایع و هنر، حکمرانان و سلاطین بودند.

تاریخچه مواد

مواد موجب پیشرفت بشر از آغاز آفرینش بوده اند؛ در نتیجه، دوره های مختلف زندگی بشر بر اساس ماده ای که در آن روزگار مورد استفاده قرار می گرفته است، نام گذاری شده است (شکل بعد).

عصر سنگ؛ ابزار و سلاح هایی که در ماقبل تاریخ، ۳۰۰۰۰۰ قبل و پیش از آن، از سنگ و استخوان حیوانات ساخته شده اند، یافت شده است.

عصر مس؛ طلا، نقره و مس تنها فلزاتی هستند که به صورت خالص در طبیعت یافت می شوند و از زمان های قدیم شناخته شده بودند. اما کاربرد آنها به صورت کار شده و شکل یافته در ۵۵۰۰ سال قبل از میلاد اتفاق افتاد. در ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد روش ذوب و ریخته گری این فلزات پدید آمد. با افزایش دمای کاری کوره ها در ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد و پس از استخراج مس و قلع از سنگ معدن آنها، عصر برنز آغاز می شود.

عصر آهن؛ با کشف روش احیای اکسید آهن در حدود ۱۴۵۰ سال قبل از میلاد، عصر آهن آغاز می شود. سه هزار سال بعد، در ۱۵۰۰ بعد از میلاد، کوره بلند توسعه یافت و چدن ها به طور گسترده ای در ساخت پل ها و ساختمان ها مورد استفاده قرار گرفتند.

عصر فولاد؛ در سال ۱۸۵۶ فولاد به روش بسمر از آهن تولید شد. خواص ویژه فولاد موجب پیدایش نقش اساسی در ساختمان سازی شد که تاکنون هم ادامه دارد.

عصر پلیمر؛ لاستیک در سال ۱۵۵۰ میلادی و پس از کشف قاره آمریکا، به اروپا وارد شد اما عصر پلیمر از ابتدای قرن بیستم آغاز می شود. با گسترش علم پلیمر در سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۶۰ میلادی، انواع مختلفی از پلیمرها ساخته شدند و در محصولات خانگی، خودروسازی و صنایع هوایی مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار تولید سالیانه پلیمرها با مقدار تولید فولاد قابل مقایسه است.

با وجود اینکه کامپوزیتها سالهای زیادی مورد استفاده قرار می گرفتند، اما کاربرد کامپوزیت های مهندسی به سال ۱۹۴۰ بر می گردد. با تقویت پلیمر با الیاف شیشه، کامپوزیت فایبر گلاس تولید شد که استحکامی برابر آلیاژهای آلومینیوم داشت. مواد

کامپوزیتی کاربرد وسیعی در صنایع هوایی، خودروسازی، لوازم ورزشی و ساختمان سازی دارند. عصر حاضر، عصر پلیمرها و کامپوزیت ها است.

سیلیکون در ۱۸۲۳ به صورت عنصر کشف شد اما در سال ۱۹۴۷ و با اختراع ترانزیستور کاربرد گسترده ای یافت. عصر پلیمرها و کامپوزیت ها مقارن با کاربرد وسیع سیلیکون در الکترونیک، ذخیره اطلاعات و رایانه ها است که از آن به عصر اطلاعات یاد می شود.

عصر نانو؛ در اواخر قرن بیستم، با درک تغییر رفتار ماده با کاهش ابعاد در حد نانومتر، علم نانو پدید آمد. امروزه تحقیقات گستردهای در زمینه نانو صورت می گیرد و ما در آغاز عصر نانو قرار داریم.

با مروری بر زمان های تحول در پیدایش و کاربرد مواد؛ سه دوره اصلی روم باستان، اواخر قرن هجدهم و سال های حدود ۱۹۴۰ مشخص هستند.

خط سیر مواد در تاریخ		
عصر	تاریخ	ماده
عصر سنگ	۱۰۰۰۰۰ قبل از میلاد	سنگ چوب طلا (۲۰۰۰۰ ق م)
عصر برنز عصر مس	۱۰۰۰۰ قبل از میلاد ۱۰۰۰ قبل از میلاد	مس طبیعی (۷۰۰۰ ق م) نقره (۴۰۰۰ ق م)؛ مس ذوب شده (۵۰۰۰ ق م) برنز (۳۵۰۰ ق م) قلع (۳۵۰۰ ق م) آهن (۱۴۰۰ ق م)

<p>ذوب آهن (۱۵۰۰) روی* (۱۷۴۶) نیکل* (۱۷۵۱)، تنگستن (۱۷۸۳) تیتانیوم* (۱۷۹۱)، آلومینیم*، منیزیم* (۱۸۰۸)</p>	<p>میلاد مسیح</p> <p>۵۰۰ میلادی</p> <p>۱۰۰۰ میلادی</p> <p>۱۵۰۰ میلادی</p> <p>۱۸۰۰ میلادی</p>	<p>عصر آهن</p>
<p>فولاد بسمر (۱۸۵۶) رشته های شیشه (۱۸۸۰) تولید آلومینیوم (۱۸۹۰) فولاد زنگ نزن (۱۹۱۲)</p>	<p>۱۸۵۰ میلادی</p> <p>۱۹۰۰ میلادی</p> <p>۱۹۲۰ میلادی</p>	<p>عصر فولاد</p>
<p>کامپوزیت های تقویت شده با گرافیت (۱۹۴۲) سوپر آلیاژها (۱۹۴۷) آلیاژهای حافظه دار (۱۹۶۱) رشته های کربنی، کامپوزیت های کربنی (۱۹۶۲)</p>	<p>۱۹۴۰ میلادی</p> <p>۱۹۶۰ میلادی</p> <p>۱۹۸۰ میلادی</p>	<p>عصر پلیمرها و کامپوزیت ها</p>
<p>مواد نانو (۱۹۸۰ تا کنون)</p>	<p>۲۰۰۰ میلادی</p>	<p>عصر ملکولی</p>

توجه کنید که مقیاس خطی نیست و در پایین نمودار مراحل زمانی بزرگ و در بالای نمودار مراحل زمانی کوچک هستند. علامت ستاره (*) مشخص کننده اولین شناسایی عنصر و سایر اطلاعات برای اهمیت کاربردی مواد داده شده است.

پیدایش، اکتشاف و استخراج معدن

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

- ۱- مواد معدنی و چگونگی تشکیل آنها را توضیح دهد.
- ۲- کانسارهای دگرگونی را شرح دهد.
- ۳- اکتشاف مواد معدنی را توضیح دهد.
- ۴- روش های استخراج معادن را شرح دهد.
- ۵- عملیات تهیه و تغلیظ مواد معدنی را توضیح دهد.
- ۶- عملیات مقدماتی استخراج فلزات را توضیح دهد.

مقدمه

همه ما بر روی کره زمین زندگی می کنیم و تمامی احتیاجات خود را به طریقی از آن به دست می آوریم. این نیازمندی ها هر چه باشند ما را بر آن می دارد تا زمین را که منبع تأمین احتیاجات ماست به خوبی بشناسیم و از ثروت های نهفته در آن آگاه شویم.

تقریباً اغلب ما به مصارف متعدد مواد معدنی، که در واقع برخی از کانیهای مفید و سازنده پوسته زمین هستند، آگاهی داریم. زغال سنگ، نفت خام، سنگ معدن آهن و موادی نظیر آهنک، گچ، نمک، گوگرد و امثال آنها را عموماً می شناسیم. این مواد همگی از قسمت های مختلف زمین استخراج می شوند.

آیا تاکنون اصطلاح ”کانی“ را شنیده اید؟ کانی ها ترکیبات طبیعی همگن، جامد و متبلوری هستند که بخش جامد پوسته زمین را تشکیل می دهند و ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابت و تا حدودی متغیر دارند. سنگ ها از اجتماع کانی های مختلف به وجود می آیند. در واقع تشکیل کانی ها و سنگ ها فرآیند واحدی است.

تاکنون در حدود ۱۵۰۰ نوع کانی مختلف شناخته شده است که البته همه آنها اهمیت یکسانی ندارند، ولی بیشتر آنها کاربرد فراوانی پیدا کرده اند و روزبه روز دامنه ی نیاز به آنها گسترده تر می شود. از این جهت بشر باید همواره درصدد یافتن معادن جدیدی باشد تا از طریق آنها بتواند احتیاجات خود را تامین کند. هنگام تجسس و اکتشاف معادن، اطلاع از فرآیندها و تحولات زمین شناسی که در گذشته های بسیار دور در تشکیل معادن دخالت داشته اند اهمیت زیادی دارد. پس چنین شناختی در جستجوی معادن جدید و تعیین ارزش مقدار کانیها و اهمیت عملی آنها راهگشا خواهد بود.

تمام سنگها و مواد معدنی که پوسته زمین از آنها تشکیل شده است طی فرآیندهای گسترده زمین شناختی و در مدت زمانی بسیار طولانی به وجود آمده اند. ذخایری که بدین ترتیب بر اثر فرآیندهای طبیعی جمع شده اند محدودند و تولید آنها به میزانی که اهمیت عملی داشته باشد تجدید و تکرار نمی شود. البته امروزه نیز ممکن است معدنی در حال تشکیل باشند، ولی مقدارشان به قدری ناچیز است که عملاً نمی توان آنها را به حساب آورد.

محل پیدایش طبیعی کانیها و سنگهایی که از لحاظ حجم و محتوای خود دارای ارزش اقتصادی باشند در اصطلاح "کانسار" نامیده می شود. به عبارت دیگر کانسار محلی است که در آن یک یا چند ماده معدنی تمرکز دارد و توده های قابل استفاده از مواد معدنی اعم از فلزی یا غیرفلزی را شامل می شود.

برای پی بردن به نحوه به وجود آمدن کانسارها و تجمع مواد معدنی در آنها ابتدا لازم است زمین و ساختار آن را به طور مختصر بشناسیم.

۱-۱- چگونگی پیدایش معادن

سنگ های مذاب موجود در اعماق زمین را که در واقع حالت خمیری شکل دارند "ماگما" می نامند. ماگما در واقع حامل کلیه عناصر شیمیایی و کانی های تشکیل دهنده پوسته زمین است و از آن انواع بسیار زیادی از سنگ های معدنی بوجود آمده اند. ماگما نه تنها حاوی مواد کانی است بلکه دارای مقداری آب به شکل بخار و گازهای دیگر

نیز هست. ماگما انواع مختلفی دارد که عناصر و کانی های گوناگونی را شامل می شود. به طور کلی ماگما از ذوب قسمتی از پوسته یا لایه های درونی زمین بوجود می آید ولی پس از تشکیل در جای خود باقی نمی ماند و بر اثر عوامل مختلف به سمت بالا حرکت می کند. ضمن حرکت ماگما به سمت بالا تغییراتی در آن به وجود می آید، از جمله به علت سرد شدن، بخشی از آن منجمد و جدا می شود. از جمع شدن کانی هایی که دارای نقطه ذوب بالایی هستند و در اولین مراحل سرد شدن از ماگما خارج می شوند و همچنین کانیهایی که در آخرین مراحل انجماد ماگما و در حین عبور آن از فضای خالی و شکاف سنگها برجا می مانند، کانسارهای فلزی مهمی نظیر طلا، نقره، مس، سرب و روی، کرومیت، قلع و جیوه به وجود می آید. به علاوه کانسارهای غیرفلزی مانند فلوئورین، باریت و پنبه نسوز نیز به همین طریق تشکیل می شوند.

در برخی موارد بر اثر پدیده های مختلفی مثل حرکات پوسته و فرسایش زمین کانسارهای فوق در حوالی سطح زمین ظاهر می شوند و تحت تأثیر عوامل جوی مانند یخبندان، برف و باران، باد و تابش خورشید کانیهای موجود به انواع پایدارتری تبدیل می شوند و سپس در مراحل بعدی در یک محل جدید متمرکز شده و کانسارهایی را، که به آنها کارنسارهای ثانویه می گویند به وجود می آورند. معادن بوکسیت یا سنگ معدن آلومینیم به این طریق تشکیل شده اند.

تعداد دیگری از کانسارها مانند نمک و گچ نیز بر اثر تبخیر آب دریا تشکیل می شوند. کانسارهای دگرگونی: هنگامی که بخشهای مختلف ماگما از اعماق زمین به طرف بالا به حرکت درمی آید با سنگ های اطراف مسیر خود در تماس قرار می گیرد و بر اثر درجه حرارت و فشار زیادی که دارد سنگ های اطراف را تحت تأثیر قرار می دهد، به طوری که آنها را دگرگون می کند و کانی های آنها را تغییر می دهد و به کانی دگرگونی تبدیل می کند در حین دگرگون شدن، یونهای کانی ها طوری تجدید آرایش می کنند که جای کمتری را اشغال کنند و طبعاً سنگ حاصل از آنها متراکم تر می شود چنین دگرگونی را دگرگونی مجاورتی گویند.

گاهی نیز دگرگونی بدون وجود ماگما صورت می گیرد. به این ترتیب که رسوبات قطوری که گاهی تا چند هزار متر ضخامت دارند در یک منطقه جمع می شوند و بر اثر وزن زیاد رسوبات شروع به فرو نشستن می کنند و قسمت ته آنها هر چه بیشتر در پوسته زمین فرو می رود. در این حال در آن قسمت فشار و حرارت افزایش می یابد و سنگ های این منطقه را دگرگون می کند. این نوع دگرگونی را ناحیه ای می گویند.

کانسارهای دگرگونی خود انواع مختلفی دارند. بعضی از آنها از تبدیل کانسارهای قبلی به وجود می آیند و بدون آنکه ترکیب شیمیایی سنگ های اولیه را تغییر بدهند تغییراتی در شکل کانسار و عیار سنگ معدن به وجود می آورند. در نوع دیگر این کانسارها، ماده معدنی مستقیماً از سنگها مشتق می شود، مثلاً در نتیجه دگرگونی سنگهای حاوی سیلیکات های آلومینیوم و بوکسیت ممکن است کانسار یاقوت که سنگ قیمتی و گران بهایی است به وجود آید. کانسارهای نظیر گرافیت و مرمر نیز به همین ترتیب از دگرگونی زغال سنگ و سنگ آهک به وجود می آید که مصارف مختلفی دارد.

۲-۱- اکتشاف معادن

بسیاری از کانسارهای موجود که در پوسته زمین تشکیل شده اند به طور مستقیم قابل مشاهده نیستند و یا اینکه در محل های دور از چشم زمین شناسان واقع شده اند. از این جهت به منظور پیدا کردن ماده معدنی و اثبات وجود آن و ارزیابی اقتصادی بودن استخراج کانسارها فعالیت هایی باید صورت گیرد که به آن عملیات پی جویی و اکتشاف می گویند. پی جویی در واقع اقداماتی است که موجب یافتن کانسار و تعیین موقعیت و وضعیت عمومی آن می شود. اما اکتشاف فعالیت هایی را شامل می شود که سبب بررسی و شناسایی دقیق کانسار، مطالعه ساختمان داخلی آن و بالاخره تعیین شکل، ابعاد و ذخیره کانسار می گردد.

اطلاعاتی که از این طریق تهیه می شود باید به قدری روشن و کامل باشد که طراحان معدن بتوانند حتی بدون آنکه لازم باشد در منطقه حضور یابند، طرح استخراج معدن را تهیه کنند.

در مرحله پی جویی مواد معدنی استفاده از دانش زمین شناسی در اولویت است. زمین شناسی علمی است که درباره شکل داخلی و خارجی زمین و مواد متشکله آن، سن زمین، تحولاتی که در درون و بیرون زمین صورت می گیرد و علل و چگونگی آنها بحث می کند. لذا در کشورهایی که تمام مناطق آن از نظر زمین شناسی بخوبی مورد مطالعه قرار گرفته باشند، زمین شناسان نواحی محتمل برای جستجوی کانسارها را می شناسند و موقعیت آنها را روی نقشه های زمین شناسی مشخص کرده اند. عکس های هوایی و اطلاعات ماهواره ای در طی سالهای اخیر در تصحیح و تکمیل نقشه های مذکور کمک فراوانی کرده است.

هنگام پیدا کردن کانسارهای جدید از یک رشته معیارها و نشانه ها برای ردیابی و جستجوی محللهای احتمالی ذخیره مواد معدنی مفید استفاده می شود. نحوه تشکیل کانی ها راهنمای خوبی برای تعیین مناطق مورد جستجو است، مثلاً اگر منشا کانسار مانند نفت و زغال سنگ، رسوبی باشد بایستی آنها را در میان طبقات رسوبی کاوش کرد؛ یا چنانچه هدف پی جویی کانسار کرومیت باشد می باید آن را در سنگ های آذرین ردیابی کرد. بنابراین اولین قدم در پی جویی، تعیین مناطقی است که امکان پیدا کردن کانسار در آنها وجود دارد. اقدام بعدی یافتن آثار و علایمی است که ما را به وجود کانسار هدایت کند. در این ارتباط علاوه بر بررسی های زمین شناسی که شرح آن قبلاً داده شده معیارهای مختلف دیگری نیز مورد استفاده قرار می گیرد که از ذکر آنها در اینجا خودداری می شود. در بازدیدهایی که جویندگان معدن در روی زمین انجام می دهند گاهی به علایم و نشانه هایی برخورد می کنند که از وجود احتمالی کانسار در محل خبر می دهد. این نشانه ها راهنمای خوبی برای پی جویی مواد معدنی است که به تعدادی از آنها اشاره می شود:

بسیار مشاهده شده که چوپان ها و شکارچی های محلی ضمن رفت و آمدهای مکرر در منطقه، اطلاعاتی در مورد وجود سنگهای معدنی به دست می آورند که ممکن است دارای اهمیت باشد و پس از بررسی از وجود کانسار خبر دهد. بسیاری از معادن امروزه ایران نه بر اساس کاوش علمی بلکه براساس اطلاعات مردم محل کشف شده است. معمولاً پیدا شدن قطعاتی از سنگ های معدنی در رسوبات یخچالی و واریزه کوه ها و نیز آبرفت رودخانه ها

راهنمای مهمی در پی بردن به وجود ماده معدنی است که با مطالعه ترکیب کانی شناسی سنگ و میزان صیقلی شدن آن می توان ترکیب ماده معدنی اصلی را تعیین کرد و پس از تخمین فاصله نقطه پیدا شدن تا محل اصلی، محدوده کانسار را در منطقه مشخص کرد. هرگاه ماده معدنی به طور مستقیم در سطح زمین دیده شود، به قسمتی که مورد مشاهده قرار می گیرد و به صورت بیرون زدگی است رخنمون^۱ ماده معدنی می گویند. رخنمون همواره دلیل قطعی وجود کانسار نیست. برای اثبات وجود یک ذخیره معدنی قابل توجه می باید مطالعات بیشتری به عمل آید.

وجود بعضی گیاهان مشخص در بعضی از مناطق نیز ممکن است ناشی از آن باشد که خاک های منطقه به خاطر داشتن مواد معدنی خاص، استعداد پرورش آن گیاهان یا درختان را پیدا کرده اند.

تعیین ذخیره ماده معدنی و استخراج آن: براساس اطلاعات حاصل از فعالیت های اکتشافی مختلف و پس از آنکه وضعیت کلی و مشخصات عمومی کانسار تعیین شد، آخرین و مهم ترین مرحله اکتشاف معدن یعنی محاسبه ذخیره انجام می شود. تنها پس از انجام این مرحله است که می توان در خصوص اقتصادی بودن و امکان استخراج آن اعلام نظر کرد. باید به این نکته مهم اشاره کرد که چون محاسبه ذخیره معدنی براساس اطلاعات محدودی صورت می گیرد لذا مقدار محاسبه شده با ذخیره حقیقی قطعاً مطابقت ندارد و به هر حال با خطا توأم است. در واقع می توان چنین عنوان کرد که ذخیره حقیقی ماده معدنی زمانی به دست می آید که آخرین ذرات ماده معدنی استخراج شده باشند.

در پایان عملیات اکتشاف مقدماتی و ارزیابی و محاسبه ذخیره کانسار، این برآورد صورت می گیرد که آیا استخراج ماده معدنی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است یا نه، و سودبخشی تولید آن طی سالیان آینده چگونه خواهد بود. این مطالعات بسیار جامع و دقیق است و معمولاً توسط کارشناسان بسیار مجرب و کارآزموده صورت می گیرد، زیرا صنعت معدن از صنایع سنگین به شمار می رود و محتاج به سرمایه گذاری هنگفتی است. از طرفی

۱- Out crop

سرمایه ای که قسمتی از آن برای حفاری معدن هزینه شده مجدداً قابل استفاده در جای دیگری نیست. در هر حال چنانچه بررسی های کارشناسی نشان دهد که عملیات استخراج اقتصادی خواهد بود، مراحل بعدی شامل طراحی معدن و تأسیسات مربوطه و احداث معدن و ساختمان های مورد نیاز ادامه می یابد.

با آغاز عملیات استخراج استعداد بالقوه ای که در زیر زمین موجود است به یک استعداد بالفعل تبدیل می شود و با شروع فعالیت ها، کانسار به تدریج به یک معدن در حال بهره برداری و فعال مبدل می گردد.

۱-۳- استخراج معادن

۱-۳-۱- استخراج به طریقه ی روباز

در زمینه طراحی روش استخراج معدن لازم به ذکر است که معادن به دو طریق زیرزمینی و روباز استخراج می شوند. هرگاه توده ماده معدنی در نزدیکی سطح زمین قرار داشته باشد و ضخامت مواد باطله و خاک و سنگ های پوشاننده آن چندان زیاد نباشد می توان با برداشتن این مواد به ماده معدنی دست یافت و آن را استخراج کرد. این طریقه بهره برداری از کانسار را معدن کاری به طریقه روباز می نامند.

معدن روباز در حال استخراج، گودال بزرگی است که دیواره های اطراف آن به صورت پلکانی است و حفاری در آن از سطح زمین به طرف پایین صورت می گیرد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ استخراج معدن به روش پلکانی روباز

طراحی معادن روباز بسیار پیچیده تر از آن است که در ظاهر نشان می دهد. در اینجا شیب و ارتفاع دیواره ها و پلکانها با دقت محاسبه می شود و برای مناطقی که در آنها زمین سست و ریزشی باشد شیب کمتری در نظر گرفته می شود.

امروزه بسیاری از معادن دنیا به روش روباز استخراج می شوند و تعداد آنها در سراسر جهان روز به روز در حال افزایش است، زیرا طریقه روباز نسبت به روشهای استخراج زیرزمینی مزایای زیادی دارند، مثلاً محدودیت فضا در آنها وجود ندارد و می توان از ماشین آلات بزرگ و سنگین با راندمان حفاری و حمل و نقل بالا استفاده کرد. همچنین هزینه هایی مانند تأمین روشنایی، هوارسانی و نگهداری سقف و دیواره کارگاهها و تونلها در آن وجود ندارد، در عین حال ایمنی کار نیز به مراتب بیشتر است. در ایران نیز تعداد زیادی معدن روباز وجود دارد که بزرگترین آنها معدن آهن چغارت و معدن مس سرچشمه کرمان است.

حفاری یا کندن سنگ ها معمولاً با استفاده از مواد منفجره صورت می گیرد. طرز عمل به این ترتیب است که ابتدا با دستگاه های حفاری چال زنی (شکل ۱-۲) سوراخ های موسوم به چال با عمقی معادل ارتفاع پله و به فواصل معین و در ردیف های موازی پله، حفر می شوند. این چال ها سپس با مواد منفجره مانند دینامیت یا باروت پر می شوند و به دنبال آن چال ها را منفجر می کنند. معدن کاران عملیات انفجار چال ها را آتش کاری می گویند که در نتیجه آن مواد معدنی و سنگ های اطراف محل انفجار کنده می شوند. حجم عملیات آتش کاری در معادن روباز زیاد است و مقدار زیادی ماده منفجره به یکباره منفجر می شود و حجم عظیمی از سنگ و خاک به هوا پرتاب می شود.



ب



الف

شکل ۱-۲- الف- دستگاه حفاری چال زنی، ب- عملیات آتش کاری در معدن روباز

پس از انجام عملیات آتش کاری، بارگیری و حمل و نقل سنگ ها و مواد معدنی صورت می گیرد که طی آن مواد خرد شده توسط وسایل بارگیری مانند لودر یا بیل های مکانیکی به داخل کامیون های معدنی که معمولاً ظرفیت زیادی دارند ریخته می شود و به بیرون معدن حمل می گردد. برای بارگیری مواد معدنی در مواردی از نوار نقاله و راه آهن نیز استفاده می شود. علاوه بر کاربرد وسایل مذکور، در مواقعی که فاصله بین معدن و کارخانه کانه آرای کوهستانی باشد و احداث جاده یا خط آهن به آسانی امکان پذیر نباشد می توان از واگن های نقاله هوایی استفاده کرد.

در بعضی از کانسارها که جنس سنگ های باطله از خاک های نسبتاً نرم است و خود ماده معدنی نیز سختی چندانی ندارد، به جای استفاده از مواد منفجره برای برداشت خاک و ماده معدنی، از ماشین های حفاری مخصوصی که اکسکواتور^۱ نام دارند استفاده می شود (شکل ۱-۳). انواع مختلف اکسکواتورها با ظرفیت های خیلی بالا کامیون و بیل مکانیکی در معادن روباز کاربرد فراوانی دارند.

۱- Excavator



الف
شکل ۱-۳-الف- کامیون و بیل مکانیکی، ب- اکسکواتور

۱-۳-۲- استخراج معادن زیرزمینی

در شرایطی که ماده معدنی در اعماق زمین واقع شده باشد استخراج آن به طریق زیرزمینی انجام می شود. در این گونه موارد خروج مواد از داخل زمین از طریق تونل یا چاه صورت می پذیرد. طراحی معادن زیرزمینی به مراتب پیچیده تر و شرایط کار کردن در آنها بسیار سخت تر از معادن روباز است. در معادن زیرزمینی عملیات استخراجی مستلزم وجود راهروها و معابری در زمین می باشد که ممکن است به صورت قائم یا مایل و یا افقی حفر شوند. پس از آنکه از طریق این راهروها که به شکل چاه یا تونل مورب یا تونل افقی هستند به ماده معدنی دسترسی پیدا شد در آنجا کارگاه استخراج معدن احداث می شود. در کارگاه های زیرزمینی با توجه به شکل و خصوصیات ماده معدنی روش های استخراجی مختلفی به کار گرفته می شود که شرح آنها از برنامه این کتاب خارج است.

برای احداث کارگاه استخراج ماده معدنی عموماً یک راهرو بالارو که به آن دوپل می گویند حفر میشود و سپس تونل های دنباله رو ماده معدنی را در بالا و پایین به هم وصل می کنند و با حفر ماده معدنی کارگاه استخراج را به جلو می برند.

سنگ ها و مواد معدنی از کارگاه استخراج کنده شده، به راهروهای باربری انتقال می یابند و از آنجا با وسایل حمل و نقل به بیرون حمل می شوند و در بونکرها و انبارهای مخصوص

و یا در محل های روباز برای انتقال بعدی انباشته می شوند.

کندن مواد معدنی سخت مانند اغلب کانسارهای فلزی با استفاده از مواد منفجره صورت می گیرد. برای استخراج مواد معدنی با سختی کمتر مانند زغال سنگ نیز می توان از ماشین های استخراج مخصوص استفاده کرد.

در کارگاه های استخراجی که حفاری با کمک مواد منفجره صورت می گیرد ابتدا با چکش های کوهبری دستی و یا اربه های چال زنی، چال هایی در فواصل معین حفر می کنند و سپس این چال ها را با استفاده از مواد منفجره خرج گذاری و آتش کاری می کنند. انفجار مواد منفجره سبب تخریب سنگها و پیشروی تونل می شود. سنگ های کنده شده در کف کارگاه ریخته می شود و متعاقباً به وسیله تجهیزات بارگیری و حمل و نقل به بیرون معدن انتقال می یابد.

سنگ های باطله ای که بر اثر حفر کارهای معدنی حاصل می شود و نیز مواد معدنی استخراج شده را باید از داخل کارگاه های استخراج و فضاهای زیرزمینی به بیرون معدن حمل کرد. از طرفی کارکنان معدن و لوازم و ابزارهای مورد نیاز آنان را باید همه روزه جابجا کرد. برای انجام این امور لازم است که یک سیستم حمل و نقل در قسمت های مختلف معدن ایجاد شود. وسایل و تجهیزاتی که برای بارگیری و باربری در بخش های مختلف مورد استفاده قرار می گیرد بسیار متنوع هستند. نوارهای باربری ناو زنجیری و راه آهن معدنی از متداولترین وسایل باربری و حمل و نقل در معادن هستند.

پس از حفر راهروها و کارگاه های زیرزمینی اغلب ممکن است زمین و سنگ های اطراف ریزشی باشند و نتوانند مدت زیادی به حالت تعادل باقی بمانند. در نتیجه پس از گذشت زمان معینی ممکن است شروع به ریزش کنند و حفاری های معدن را مسدود نمایند. از این جهت ضروری است که با وسایل و استحکامات مخصوص فضاهای خالی شده زیرزمینی را در مقابل ریزش نگهداری کرد، اگرچه در مواردی مثل تونل هایی که در سنگهای محکم حفر شده نیاز چندانی به وسایل نگهداری نیست، ولی در حالت کلی نصب وسایل نگهداری بسیار ضروری است. برای نگهداری در قسمتهای مختلف معدن از روش ها و وسایل متنوعی

که مناسب با نیاز کار است استفاده می شود. به طور معمول تونل های معدن را به وسیله ی چوب بست نگهداری می کنند (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- معدن زیر زمینی

برای این کار چند چوب را در سقف و دیواره روی هم متصل می کنند. در مواردی که فشارهای وارده زیاد باشد از وسایل نگهداری فلزی نظیر قاب های کشویی قوسی شکل که بسیار کاربرد فراوانی دارند استفاده می شود. همچنین این امکان وجود دارد که در صورت لزوم از پوششی بتونی برای این منظور در تونل ها استفاده شود. در یک روش متداول دیگر نیز طبقات سقف و دیواره تونل را توسط پیچ و مهره های بلندی به یکدیگر می دوزند و از ریزش آنها جلوگیری می کنند.

پس از استخراج مواد معدنی، این مواد باید برای جداسازی مواد با ارزش معدنی از سنگ ها و مواد باطله به کارخانه کانه آرایی منتقل گردد. حمل مواد معدنی به روش های مختلف امکان پذیر می باشد.

۴-۱- تهیه و تغلیظ مواد معدنی (کانه آرایی)

از آنجایی که مواد و سنگ های استخراج شده از معادن، عمده از مواد باطله تشکیل شده اند و کانی های مفید فقط درصد خیلی کمی از آن ها را تشکیل داده است، ضروری است

که اقداماتی به عمل آید تا مواد باطله (کانی‌ها و سنگ‌های غیر لازم) از مواد استخراجی جدا شوند و درجه خلوص مواد معدنی تا حد ممکن بالا رود. این عملیات را تغلیظ مواد یا آرایش مواد معدنی (کانه آرایشی) می‌گویند. عملیات کانه آرایشی در کارخانه‌های مجهزی که معمولاً دور از معدن به این منظور بنا شده‌اند صورت می‌گیرد.

معمولاً در سنگ‌های معدنی کانی‌های مفید و غیر مفید به شکل ذرات چسبیده به هم و مخلوطی از مواد مفید و مواد زاید و باطله می‌باشند. بنابراین برای جدا کردن کانی‌های مفید ابتدا سنگ‌های معدن را خرد می‌کنند. سپس دانه‌های عاری از کانی‌های مفید توسط روش‌های گوناگونی جدا می‌گردند. هر چه دانه‌های خرد شده ریزتر باشند امکان جداسازی کانی‌های غیر مفید بیشتر می‌گردد. با جدا کردن سنگ‌های باطله، درصد یا عیار کانی‌های مفید در سنگ معدن زیاد خواهد شد. سنگ معدن پر عیار شده سپس برای استخراج فلزات مورد نظر به کارخانجات مربوط فرستاده می‌شوند.

۵-۱- خرد کردن سنگ معدن و تفکیک آن

به منظور کانه آرایشی سنگ‌های استخراج شده، ابتدا توسط سنگ شکن‌ها خرد و سپس سنگ‌های خرد شده توسط آسیاها پودر می‌شوند. عمل خرد کردن که در دستگاه‌هایی به نام سنگ شکن صورت می‌گیرد، معمولاً در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول خرد کردن، سنگ‌ها به ابعاد حدود ۶-۴ سانتی متر و در مرحله دوم به ابعاد ریزتری مثلاً تا حدود یک سانتی متر می‌رسند.

پس از آنکه سنگ‌ها به وسیله سنگ شکن خرد شدند لازم است که دانه بندی شوند، یعنی دانه‌های ریز و درشت از یکدیگر جدا شوند. بر حسب مورد مصرف، گاهی دانه‌های ریز و زمانی هم دانه‌های درشت مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای دانه بندی از انواع غربال‌ها نظیر سرندهای ثابت، لرزان و گردان استفاده می‌شود. در مرحله آخر برای ریزتر و پودر کردن سنگ‌ها از آسیا استفاده می‌کنند (شکل ۵-۱).

به‌طور کلی می‌توان برای تفکیک و جداسازی کانی‌ها از مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آنها استفاده کرد. حال کانی‌های پر عیار شده در اختیار ما می‌باشد و بایستی

به روشی فلز مورد نظر را از کانی استخراج کنیم.

۶-۱- روش های تفکیک و جداسازی کانی ها از یکدیگر (پر عیار کردن ماده

معدنی)

براساس مشخصات فیزیکی و مکانیکی و شیمیایی کانی مفید و مواد باطله همراه آن، روش های مختلفی برای جداسازی و در نتیجه تغلیظ ماده معدنی به کار برده می شود. گاهی فقط اختلاف مقاومت مکانیکی آنها برای جدا کردن کافی است، و زمانی اختلاف رنگ به جداسازی کمک می کند. پرعیار کردن به روش سنگ جوری دستی و سنگ جوری اتوماتیک بهترین مثال است. در روش سنگ جوری مواد معدنی و باطله روی نوار نقاله ریخته می شود و در حین حرکت آن با استفاده از خاصیت اختلاف رنگ چشم کارگر یا سلول های فتوالکتریک حساس به رنگ، مواد مفید و غیرمفید را از یکدیگر جدا می کند.



شکل ۵-۱- کانه آرایی سنگ معدن

یکی دیگر از روش های عمده آرایش مواد معدنی استفاده از اختلاف وزن مخصوص است. با ریختن مخلوط کانی مفید و مواد باطله در محلول یا مایعی که وزن مخصوصی مابین آن دو دارد یکی از آنها در عمق مایع فرو می رود و دیگری در سطح شناور می شود. به این ترتیب این دو از یکدیگر جدا می شوند. در دستگاه های به نام جیگ^۱ و همین طور میزهای

۱- Jig

تغلیظ با استفاده از اختلاف سرعت سقوط یا حرکت دانه های با وزن مخصوص مختلف در آب آنها را از هم جدا می کنند.

امروزه استفاده از خاصیت مغناطیسی بعضی از کانی ها، از جمله بعضی از کانی های آهن، روش مناسبی برای جداسازی آنها از سایر کانی ها است. عمل جداسازی ذرات سنگ معدن از مواد باطله به وسیله مغناطیس در مجاورت هوا یا آب انجام می شود. از دیگر خواص فیزیکی که برای جدا کردن مواد به کار می رود خاصیت الکتریکی آنهاست که با ایجاد میدان الکتریکی قوی، کانی هایی را که دارای خاصیت هدایت الکتریکی هستند به وسیله سیستم های الکتریکی دفع یا جذب می کنند و آنها را از مواد باطله جدا می سازند.

فلوتاسیون یا شناورسازی: شناورسازی یکی از مهم ترین و گسترده ترین روش های جداسازی ماده معدنی و مواد باطله و در عین حال از دقیق ترین روش های پرمیال کردن مواد معدنی است، که علاوه بر اکثر سنگ های معدنی فلزی بسیاری از کانی های غیرفلزی و زغال سنگ را می توان به کمک آن پرمیال کرد.

در قسمت شناورسازی مخلوط سنگ معدن آسیاب می شود و مخلوط آن با آب که خمیره نامیده می شود داخل سلول های هوادهنده می گردد. در این سلول ها خمیره به هم زده شده، هوا در آن دمیده می شود و مقدار قابل توجهی کف در سطح خمیره تشکیل می گردد. عمل تولید کف در سلول های فلوتاسیون توسط چرخش سریع یک پروانه در درون آن انجام می گیرد، در هر صورت حباب های کف مقدار زیادی از ذرات سنگ معدن را که به آنها چسبیده اند با خود به سطح می آورند و ذرات مواد باطله که نمی توانند به حباب های هوا بچسبند به پایین فرو می روند.

کف هایی که در سطح مایع ظاهر می شوند به وسیله پاروهای مکانیکی به طور مرتب از بالای سلول برداشته می شود و در داخل جویی که در کنار سلول ها قرار دارد می ریزد. کف های حاصله از سرریز که حاوی مقدار زیادی ماده معدنی است پس از شستشوی کف به صورت لجن رسوب می کند که پس از آبگیری و خشک کردن آنها برای مراحل بعدی

ارسال می شود.

۷-۱- عملیات مقدماتی استخراج فلزات

قبل از آن که مواد معدنی تغلیظ شده در کارخانجات کانه آرایی، وارد کوره های ذوب فلزات شوند؛ باید عملیاتی را بر روی آنها انجام داد تا به درجه خلوص بهتری برسند و نیز اختلالی در کار کوره به وجود نیاید، یا آنکه مواد مذکور به شکلی تبدیل شوند که بتوان آنها را در کوره به کار برد.

در اینجا بطور اختصار به شرح این عملیات که شامل موارد زیر است می پردازیم:

۱- خشک کردن^۱

۲- تکلیس^۲

۳- تشویه^۳

۴- آگلومراسیون^۴

۷-۱-۱- خشک کردن

عبارت است از گرفتن رطوبت و آب تبلور ماده معدنی تا اندازه ای که ورود آن به کوره سبب تاخیر عملیات ذوب نشود. ساده ترین طریقه خشک کردن به این طریق است که مواد را روی سطحی پهن می کنند و از زیر به وسیله جریان هوای داغ یا آتش ملایم آن را حرارت می دهند. استفاده از دستگاه های خشک کن در انواع مختلف امروزه کاربرد فراوانی پیدا کرده است. انواع این دستگاه ها، با توجه به چگونگی رفتار ماده معدنی و خواص فیزیکی و شیمیایی آن، در کارخانه ها مورد استفاده قرار می گیرند.

۷-۱-۲- تکلیس

برای جدا کردن دی اکسید کربن از مواد معدنی کربناته، عملیاتی به نام تکلیس روی آنها انجام می دهند. در این عملیات با حرارت دادن (حرارت های بیشتر نسبت به عملیات

۱- Drying

۲- Calcination

۳- Roasting

۴- Agglomeration

خشک کردن) ماده معدنی کربناته ابتدا آن را طبق واکنش زیر تجزیه کرده و اجازه خروج گاز CO_2 را از محیط می‌دهند.



(در این واکنش M به جای فلز مورد نظر برای استخراج گذاشته شده است). تفاوت عمل خشک کردن با تکلیس در آن است که برای عمل تکلیس از حرارت بیشتری استفاده می‌شود.

۳-۷-۱- تشویه

هنگامی که مواد معدنی حاوی گوگرد، آنتیموان و آرسنیک باشند آن را در کوره‌های ویژه‌ای گرما می‌دهند تا آن که جسم از حالت سولفور و غیره به اکسید تبدیل شود و ناخالصی‌های مذکور از آن خارج شوند. این عمل را تشویه گویند. انجام عمل مذکور اهمیت زیادی دارد زیرا در غیر این صورت مشکلاتی در عملیات ذوب ماده معدنی به وجود می‌آید و علاوه بر اتلاف، مواد فلزی نیز از بین می‌رود.

۴-۷-۱- آگلومراسیون

چون مواد معدنی پودری شکل را نمی‌توان در کوره‌های ذوب به کار برد. لذا باید آنها را به شکل کلوخه، گلوله و یا حبه‌هایی تبدیل کرد که به این عمل آگلومراسیون می‌گویند. در این عملیات کلوخه‌ها از زینتر شدن پودرهای سنگ معدن حاصل می‌شود. به عنوان مثال در زمان تولید چدن در کوره بلند در نتیجه دانه بندی کک و مواد معدنی همواره مقداری پودر حاصل می‌شود که تنها پس از آگلومراسیون می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. مصرف آگلومره در استخراج آهن نسبت به مصرف مستقیم سنگ آهن به دلیل یکنواخت شدن ترکیب مواد شیمیایی و انجام واکنش‌های بهتر باعث افزایش راندمان کوره بلند به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌گردد. همچنین این عمل مصرف کک را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد.

- ۱- مواد معدنی و چگونگی تشکیل آنها را توضیح دهید.
- ۲- نحوه تشکیل کانسارهای دگرگونی را شرح دهید.
- ۳- اکتشاف مواد معدنی را توضیح دهید.
- ۴- چگونگی تعیین ذخیره ماده معدنی و استخراج آن را توضیح دهید.
- ۵- استخراج معادن به طریق روباز را شرح دهید.
- ۶- استخراج معادن به طریق زیرزمینی را شرح دهید.
- ۷- عملیات تهیه مواد معدنی را توضیح دهید.
- ۸- عملیات مقدماتی استخراج فلزات را که بر روی مواد معدنی انجام می شود، نام ببرید.
- ۹- پرعیار کردن ماده معدنی را شرح دهید.
- ۱۰- عملیات خشک کردن ماده معدنی را توضیح دهید.
- ۱۱- عملیات تکلیس به چه منظوری صورت می گیرد و تفاوت آن با عمل خشک کردن چیست؟
- ۱۲- هدف از عمل تشویه چیست؟
- ۱۳- آگلومراسیون مواد معدنی به چه منظور انجام می شود؟
- ۱۴- فلوتاسیون یا شناورسازی را شرح دهید.

جدول تناوبی عناصر

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sr	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

در سالهای ۱۸۶۰ تا ۱۸۷۰ این موضوع که خواص عناصر در یک وضع مشخص تکرار می شوند، فهمیده شد. دو شیمیدان به نام های مییر از آلمان و مندلیف از روسیه، مستقل از هم سیستم عناصر را طبقه بندی کردند. مورد اخیر منطقی تر بود و به عنوان پایه جدول تناوبی عناصر قرار گرفت. این کار امکان پیش بینی خواص عنصرهای ناشناخته را با دقت بالا فراهم کرد و در تحقیقات و کشف بعضی از عناصر بسیار مهم بود.

بیش از ۸۰٪ عناصر را فلزات و نیمه فلزات تشکیل می دهند. در جدول تناوبی عناصر فلزی با رنگ آبی و عناصر نیمه فلزی با رنگ سبز مشخص شده اند. غیر فلزات با رنگ زرد نمایش داده شده اند.

استخراج آهن از سنگ معدن

هدف های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش آموز انتظار می رود:

- ۱- آهن و آلیاژهای آن شامل فولاد و چدن را توضیح دهد.
- ۲- طرز تهیه آهن خام با روش احیای مستقیم را شرح دهد.
- ۳- طرز تهیه آهن خام با روش احیای غیرمستقیم را شرح دهد.

مقدمه

آهن (Fe): آهن به عنوان یک عنصر شیمیایی، در طبیعت بندرت به صورت خالص یافت می شود. این عنصر بعد از آلومینیوم فراوان ترین عنصر فلزی است و در حدود ۵ درصد از قشر جامد کره زمین را تشکیل می دهد.

آهن اغلب به صورت اکسید در معادن وجود دارد ولی به صورت کربنات، سیلیکات و سولفید آهن نیز در طبیعت یافت می شود.

آهن خالص به علت نرم بودن و نداشتن استحکام کافی در صنایع کاربرد ندارد و معمولاً آن را همراه با عناصر دیگری به صورت آلیاژ به کار می برند. عناصر آلیاژی شامل غیرفلزات (کربن، گوگرد، فسفر و سیلیسیم) و یا فلزات (کرم، نیکل، وانادیم، مولیبدن و غیره) می باشد، که به نامهای اصلی فولاد و چدن نامیده می شوند. فولادها و چدن ها بیشترین کاربرد را در صنعت دارند، ماده اولیه فولادها و چدن ها، آهن خام است.

تاریخچه

اولین نشانه های استفاده از آهن به زمان سومریان و مصریان بر می گردد که تقریباً ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد با آهن کشف شده از شهاب سنگ ها اقلام کوچکی مثل سر نیزه

و زیورآلات می‌ساختند. از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد، تعداد فزاینده‌ای از اشیای ساخته شده با آهن مذاب در بین‌النهرین، آسیای صغیر و مصر به چشم می‌خورد. فقدان نیکل، این محصولات را از آهن شهاب سنگی متمایز می‌کند. اما ظاهراً تنها در تشریفات از آهن استفاده می‌شد و آهن فلزی گران بها حتی با ارزش‌تر از طلا به حساب می‌آمد.

آهن، بعنوان یک محصول جانبی از تصفیه مس تولید می‌شد - مثل آهن اسفنجی - و بوسیله متالورژی آن زمان قابل تولید مجدد نبوده است. این فرایند در کوره های ساده با استفاده از ذغال چوب و دمش هوا به صورت دستی، انجام می‌شد. از ۱۶۰۰ تا ۱۲۰۰ قبل از میلاد در خاورمیانه بطور روز افزون از این فلز استفاده می‌شد، اما جایگزین کاربرد برنز در آن زمان نشد.

از ۱۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد در خاورمیانه یک جابجایی سریع در تبدیل ابزار و سلاح های برنزی به آهنی صورت گرفت. عامل مهم در این جابجایی، آغاز ناگهانی تکنولوژی های پیشرفته کار با آهن نبود، بلکه عامل اصلی، مختل شدن تامین قلع بود. این دوره جابجایی که در زمان های مختلف و در نقاط مختلفی از جهان رخ داد، دوره ای از تمدن به نام عصر آهن را بوجود آورد.

هم زمان با جایگزینی آهن به جای برنز، فرآیند کربونیزاسیون^۱ کشف شد که بوسیله آن به آهن موجود در آن زمان، کربن اضافه می‌کردند. آهن را بصورت اسفنجی که مخلوطی از آهن و سرباره به همراه مقداری کربن یا کاربید است، بازیافت می‌کردند. سپس سرباره آنرا با چکش کاری جدا نموده و کربن موجود در آهن را اکسیده می‌کردند تا بدین طریق آهن نرم تولید کنند.

مردم خاور میانه دریافته بودند که با حرارت دادن طولانی مدت آهن نرم در لایه ای از زغال و سریع سرد کردن آن در آب یا روغن می‌توان محصولی بسیار محکم‌تر بدست آورد. محصول حاصله که سطحی سخت داشت، از برنزی که قبلاً کاربرد داشت محکم‌تر و مقاوم‌تر بود.

در چین نیز اولین بار از آهن شهاب سنگی استفاده شد و اولین شواهد باستان شناسی برای اقلام ساخته شده با آهن نرم در شمال شرقی چین مربوط به قرن ۸ قبل از میلاد

^۱- Carbonization

بدست آمده است. این وسایل از آهن نرم و با همان روش خاورمیانه و اروپا ساخته شده بودند.

در حدود ۵۵۰ قبل از میلاد به سبب پیشرفت زیاد تکنولوژی کوره ، قابلیت تولید آهن جدیدی بوجود آمد. ساخت کوره‌های بلندی که توانایی تولید حرارت بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد را داشت، موجب تولید آهن خام یا چدن توسط چینی‌ها شد. اگر سنگ معدن آهن با کربن در ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شود، مایع مذابی بدست می‌آید که آلیاژی با ۹۶/۵٪ آهن و ۳/۵٪ کربن است. این محصول محکم را می‌توان به شکل‌های ریز و ظریف در آورد. اما برای استفاده ، بسیار شکننده می‌باشند، مگر آنکه بتوان بیشتر کربن آنرا از بین برد.

از آن زمان به بعد، اکثر تولیدات آهن به شکل چدن بود. با این همه، آهن بعنوان یک محصول عادی که برای صدها سال مورد استفاده کشاورزان قرار گرفته است، باقی ماند. توسعه چدن در اروپا از چین عقب افتاد، چون کوره‌های ذوب در اروپا فقط توانایی تولید حرارت ۷۵۰ درجه سانتیگراد را داشت. در اروپای غربی در قرون وسطی، آهن را هم چنان با روش تبدیل آهن اسفنجی به آهن نرم بدست می‌آوردند.

در سال ۹۰۰ بعد از میلاد از نیروی آب برای حرکت دمنده‌های بزرگ و ایجاد دمش فراوان استفاده شد. به همین ترتیب ابعاد کوره‌های ذوب آهن نیز افزایش یافت. هم زمان با استفاده از نیروی آب، کشف تولید غیرمستقیم دو مرحله‌ای فولاد تحول اساسی در ذوب آهن ایجاد کرد. این روش امروزه هم به کار می‌رود. در مرحله اول آهن خام مذاب با محتوای زیاد کربن در کوره بلند تولید می‌شود. در مرحله دوم در کوره اصلاح ترکیب شیمیایی، آهن خام کربن زدایی و به فولاد تبدیل می‌شود.

در آغاز برای ذوب آهن از زغال چوب هم بعنوان منبع حرارتی و هم عامل کاهنده استفاده می‌شد. در قرن ۱۸ در انگلستان تامین کنندگان چوب کم شدند و از زغال سنگ که یک سوخت فسیلی است، به عنوان منبع جانشین استفاده شد.

عصر صنعت

در قرن ۱۸، توسعه موتورهای بخار و حمل و نقل، نیاز به فولاد به عنوان ماده ساختمانی را افزایش داد. از سال ۱۷۰۰ به بعد مهم ترین پیشرفت های صنعتی در تولید آهن انجام شد و اختراعاتی که منجر به انقلاب صنعتی شد عمدتاً در اروپا صورت گرفت که خلاصه آنها در زیر می آید:

- ساخت اولین کوره بلند بر پایه کک توسط آبراهام داربی در سال ۱۷۳۵.
- استفاده از موتورهای بخار برای تولید فولاد اولین بار توسط داربی در سال

۱۷۴۲

- ریخته گری بوته ای فولاد توسط بنجامین هوستمن، سال ۱۷۴۲
- توسعه فرایند تولید آهن کار شده توسط هنری کورت، سال ۱۷۸۳
- استفاده از دمش هوای گرم توسط جین بیومونت نیلسون، سال ۱۸۲۹
- حرارت دهی دمشی توسط فابر دی فاور، سال ۱۸۳۲
- فرایند اصلاح مذاب آهن با هوا در محیط اسیدی توسط هنری بسمر، سال

۱۸۵۶

- استفاده از حرارت گازهای خروجی کوره (بازیابی حرارتی) توسط ویلهلم زیمنس، سال ۱۸۶۱

- فرایند اصلاح مذاب آهن با کوره زیمنس-مارتین توسط پیر امیل مارتین، سال

۱۸۶۴

- فرایند اصلاح مذاب آهن در محیط بازی توسط سیدنی توماس، سال ۱۸۷۸
- ساخت کوره قوس الکتریکی توسط پاول هرولت، سال ۱۹۰۰

آخرین پیشرفت های تاریخی، فرایند فولادسازی دمش اکسیژن و ریخته گری پیوسته هستند که از ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ توسعه یافتند.

۱-۲- استخراج آهن به روش غیرمستقیم

برای تهیه آهن خام به روش احیای غیر مستقیم، سنگ معدن آهن را پس از آماده

کردن، در، کوره بلند به کمک کک و کلوخه^۱ و آهک احیاء و تصفیه می کنند.

سنگ معدن آهن: سنگ معدن آهن از اکسیدهای مختلف آهن و مواد زائد و ناخالصی های مختلف تشکیل شده است. ناخالصی هایی که همراه سنگ معدن آهن وجود دارند عبارتند از اکسید سیلیسیم، مخلوط گل رس و در بعضی موارد کربنات کلسیم، گوگرد، منگنز، ترکیبات فسفر و غیره.

انواع مختلفی از سنگ معدن آهن در طبیعت یافت می شوند که در جدول ۱-۲ نام و خصوصیات پرمصرفترین آنها ارائه شده است.

جدول ۱-۲- خصوصیات انواع سنگ معدن آهن

نام سنگ معدن آهن	فرمول شیمیایی	درصد آهن ایده آل	توضیحات
ماگنتیت	Fe_3O_4	۷۲	مغناطیسی
هماتیت	Fe_2O_3	۷۰	
لیمونیت	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	۶۲	
سیدریت	FeCO_3	۴۸	

ارزش سنگ معدن آهن به درصد آهن و ترکیبات دیگر آن بستگی دارد. سنگ معدن آهن مصرفی کارخانه ذوب آهن اصفهان مخلوطی از سنگ های معدن ماگنتیت و هماتیت است که از مرغوبترین نوع سنگ معدن آهن به حساب می آید.

قسمت اعظم سنگ معدن آهن که برای تصفیه در این کارخانه مورد استفاده قرار می گیرد از معادن چغارت واقع در ۱۴ کیلومتری شمال شرقی بافق یزد استخراج می شود.

آماده کردن سنگ آهن: اگر سنگ معدن آهن استخراج شده از معدن مستقیماً وارد کوره شود، در کار ذوب و تصفیه اختلالات فراوانی ایجاد می کند و از نظر اقتصادی نیز مقرون به ۱- مخلوط ذرات ریز کانی آهن (کمتر از ۱۰۰ میکرومتر) و مواد آهن دار و گرد کک و سایر مواد؛ که تا دمایی بالا (کمتر از نقطه ذوب کانی آهن) حرارت داده می شوند. این عمل باعث اتصال سطح ذرات و تشکیل جسمی متخلخل با استحکام کافی برای شارژ کردن در کوره بلند می گردد.

صرفه نیست. مثلاً قطعات بزرگ سنگ معدن دیرتر ذوب می شوند و عمل تصفیه را به تأخیر می اندازند؛ همچنین خاکه ها و پودرها نیز مسیر گازهای گرم را در کوره مسدود می کنند و مانع ذوب و تصفیه در سطوح بالاتر کوره می شوند. از طرف دیگر مواد اضافی موجود در سنگ معدن آهن، علاوه بر کاهش مرغوبیت آهن خام، باعث صدمه زدن به لایه نسوز کوره نیز می شوند. بنابراین لازم است که سنگ معدن را قبل از ورود به کوره آماده کنند.

آماده کردن سنگ معدن در چند مرحله انجام می گیرد که عبارتند از غربال کردن، خردکردن، تغلیظ و پرعیارکردن.

کوره بلند: معمولاً برای احیا و تصفیه ی سنگ معدن آهن از کوره بلند استفاده می شود. این کوره از دو مخروط ناقص تشکیل شده است که در قاعده بزرگ با هم مشترکند. بدنه کوره از جنس صفحات فولادی می باشد که قسمت های داخلی آن با مواد نسوز پوشش داده می شود. برای خنک کردن کوره، معمولاً از جریان آبی، که در بین دیواره کوره وجود دارد استفاده می شود. ارتفاع کوره های بلند ۳۰ تا ۸۰ متر بوده که قطر بزرگترین قسمت آن، از ۱۰ تا ۱۴ متر می باشد.

قسمت پایینی کوره، استوانه ای شکل و به بوته معروف است؛ در این محل مواد مذاب و سرباره جمع می شود. بوته معمولاً دارای دو محل خروجی است که یکی در بالا، برای خروج سرباره و دیگری در قسمت پایین، برای خروج آهن خام مذاب در نظر گرفته شده است. در اطراف قسمت بالای بوته، کانال هایی وجود دارند که از آنها هوای گرم (در حدود ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد) مورد نیاز برای احتراق کک، به داخل کوره دمیده می شود.

مخروط ناقصی، که در بالای بوته قرار دارد شکم کوره نام دارد و به منطقه ذوب نیز معروف است. مخروط بالایی کوره برای بارگیری استفاده می شود. در بالای این قسمت دهانه قیفی شکلی قرار دارد که هنگام ریختن مواد به داخل کوره، در آن باز می شود و پس از تکمیل بار کوره، مجدداً مسدود می گردد.

در کنار کوره بلند، بالابر مایلی قرار دارد که از آن برای بالا بردن واگن های مخصوص حمل مواد استفاده می شود.

سوخت کوره بلند: در کوره بلند، برای ذوب و تصفیه، نیاز به سوختی است که علاوه بر تأمین حرارت لازم، بتواند کربن مورد نیاز برای احیای اکسید آهن را نیز تأمین کند. این سوخت باید ارزش حرارتی بالایی داشته باشد و در هنگام سوختن بهم نچسبد و برای اینکه بتواند گازها را از بین خود عبور دهد و عمل احتراق را تسهیل کند، بهتر است که متخلخل باشد. برای این منظور از کک استفاده می کنند، که علاوه بر مزایای فوق استحکام زیادی دارد و خاکستر کمی نیز (کمتر از ۱۱ درصد) از خود به جای می گذارد.

کک مصرفی کارخانه ی ذوب آهن ایران، ۱ درصد گوگرد، ۳ درصد رطوبت، ۱۵ درصد خاکستر و فقط ۸۱ درصد کربن دارد. ذغال سنگ مصرفی برای تهیه ی کک از معادن سنگرود، زیرآب، شاهرود و کرمان استخراج و به وسیله قطار به اصفهان حمل می شود.

مواد کمک ذوب: مواد کمک ذوب، موادی هستند که در کوره به جریان ذوب کمک کرده و جدایش ناخالصی ها از فلز مذاب را آسان می کنند. در کوره بلند برای این منظور از آهک استفاده می شود آهک با ناخالصی های موجود در سنگ معدن آهن (سیلیسیم، منگنز و گوگرد) ترکیب شده و آنها را به صورت سرباره به سطح مذاب می راند. سنگ آهک کارخانه ی ذوب آهن اصفهان از پیر بکران اصفهان و کوارتزیت از منگستانه یزد تأمین می گردد.

شارژ کوره بلند: پس از آماده کردن سنگ معدن آهن، کلوخه، کک و آهک، آنها را با نسبت های معینی، به صورت لایه لایه از بالای کوره به داخل آن می ریزند. وجود پخش کن مخروطی شکلی که در زیر قیف وجود دارد باعث می شود که مواد به صورت یکنواخت در داخل کوره پخش شوند و در آن انباشته نشوند. البته کوره های بلندی نیز یافت می شوند که در آن ها فقط از کلوخه هایی که قبلاً با کک و آهک و سایر مواد کمک ذوب با نسبت های معینی مخلوط شده اند، به همراه کک اضافی، استفاده می شود. نسبت هریک از مواد ریخته شده در کوره بلند به نوع و جنس سنگ معدن آهن، کلوخه و مواد کمک ذوب بستگی دارد. به عنوان مثال در کارخانه ذوب آهن اصفهان برای تولید یک تن آهن خام، ۵۹۹ کیلوگرم سنگ معدن آهن، ۱۰۸۲ کیلوگرم کلوخه، ۱۲/۲ کیلوگرم آهک و مواد

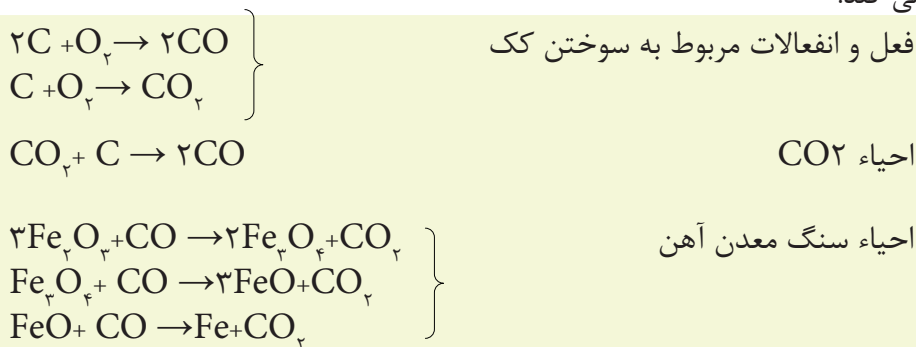
گداز آور و ۴۹۵ کیلوگرم کک، به داخل کوره ریخته که در هر دقیقه به طور متوسط ۱۶۰۰ مترمکعب هوا مورد نیاز است. به طوری که ملاحظه می شود حدود نصف محصول خام، به صورت کلوخه در کوره ریخته می شود که از مزایای کارخانه است.

فعل و ا نفعالات داخل کوره بلند: عملیات ذوب و تصفیه ی سنگ معدن آهن در

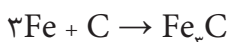
داخل کوره بلند در چهار منطقه به شرح زیر انجام می گیرد:

۱- منطقه ی خشک کردن: این منطقه که در قسمت بالای کوره قرار دارد منطقه ای است که درجه حرارت آن تقریباً ۳۰۰ درجه سانتی گراد است. در این منطقه عبور گازهای گرم باعث افزایش درجه حرارت مواد ریخته شده به داخل کوره می شود و رطوبت آنها نیز تبخیر می شود.

۲- منطقه احیای (احیای غیرمستقیم): در این منطقه با افزایش درجه حرارت، کک و مواد کمک ذوب شروع به واکنش می کنند. احتراق ناقص کک، سبب متصاعد شدن گاز منواکسیدکربن (CO) می شود که با اکسید آهن واکنش داده و آن را در چند مرحله احیا می کند.

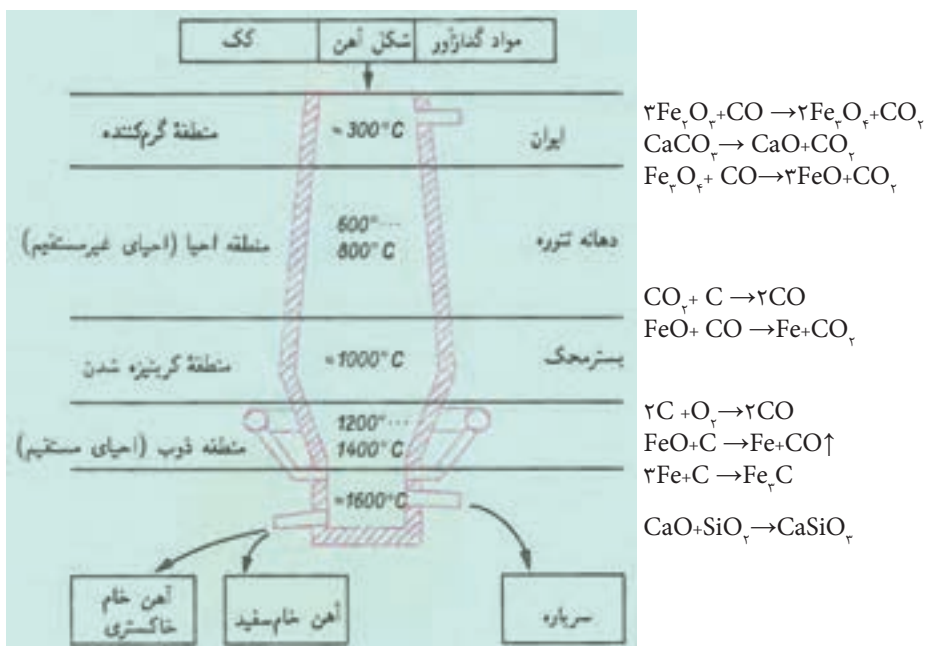
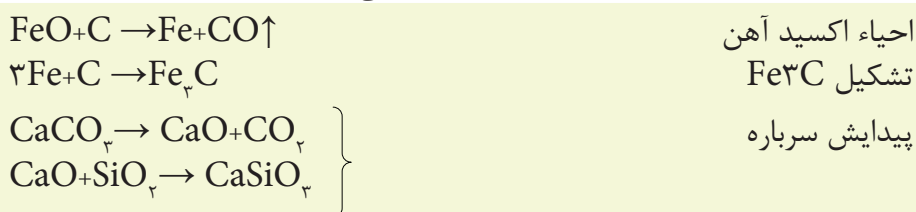


۳- منطقه ی کربونیزه شدن: در این منطقه که درجه حرارت آن حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد است، آهن خالصی که از احیای سنگ معدن آهن حاصل شده است، ضمن حرکت به سمت پایین کوره، با کک گداخته برخورد کرده و با کربن موجود در آن ترکیب می شود.



باید توجه داشت که در این مرحله سیلیسیم، گوگرد، منگنز و فسفر نیز به همراه Fe_3C به سمت پایین حرکت می کنند؛ که بخشی از آن ها وارد آهن مذاب می شوند.

۴- منطقه ی ذوب (احیای مستقیم): در این مرحله ترکیبات ذوب شده به سمت پایین حرکت می کنند؛ و چون تمام اکسیدهای آهن FeO در قسمتهای بالا فرصت کافی برای احیاء شدن را پیدا نمی کنند، باقیمانده آن ها در این مرحله، به وسیله ی کربن جامد احیا می شود. این عمل در درجه حرارتی بین ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد انجام می شود. شکل ۳-۲ فعل و انفعالات داخل کوره بلند را نشان می دهد.



شکل ۳-۲ فعل و انفعالات داخل کوره بلند

در پایین ترین قسمت کوره، بوته قرار دارد که مواد مذاب در آن جمع می شود و اضافات

آن، به علت داشتن وزن مخصوص کمتر، به صورت سرباره در بالای آن قرار می گیرد. حال می توان سرباره را از محل خروجی که در قسمت بالای بوته قرار دارد خارج کرد و سپس از مجرای خروجی زیر بوته، مواد مذاب را که آهن خام نامیده می شود خارج نمود. عمل تخلیه آهن خام را در هر ۴ تا ۵ ساعت یکبار انجام می دهند و به همان نسبت بار کوره را از بالا به آن اضافه می کنند به این ترتیب کار کوره بلند مداوم است و در تمام ۲۴ ساعت شبانه روز عملیات فوق در آن انجام می گیرد.

محصولات کوره بلند: محصولات اصلی کوره بلند را آهن خام می نامند. آهن خام دارای ۳ تا ۴ درصد کربن و نقطه ذوب آن در حدود ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد است. این محصول را به دلیل شکنندگی زیاد و ناخالصی های فراوان، نمی توان در صنعت مورد استفاده قرار داد.

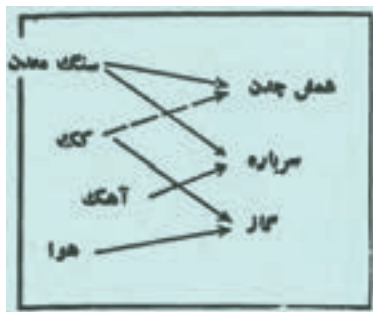
آهن خام به دلیل قابلیت ریخته گری خوب برای تهیه ی انواع چدن ها استفاده می شود. آهن خام مذاب را پس از خروج از کوره ذوب آهن، به داخل حوضچه هایی که در کف کارگاه و از ماسه ساخته شده اند، هدایت می کنند. پس از سرد شدن، آهن خام به صورت شمش های با مقطع دوزنقه ای شکل درمی آید.

از کوره بلند به جز آهن خام، محصولات فرعی دیگری نیز به صورت سرباره و گاز به دست می آید.

سرباره: از ذوب اکسید ناخالصی ها و مواد کمک ذوب و خاکستر کک، سرباره تشکیل می شود. معمولاً حجم سرباره ای که از کوره بلند به دست می آید سه برابر حجم آهن خام تولیدی است. از سرباره برای تهیه آجرهای نسوز، سیمان، عایق حرارتی (شبه پشم شیشه)، کود شیمیایی و زیرسازی جاده ها استفاده می کنند.

گاز کوره بلند: این گاز مخلوطی از گازهای مختلف مانند دی اکسید کربن، منواکسید کربن، متان، هیدروژن و ازت است که در هنگام خروج از کوره بلند، ذرات معلق نیز به همراه دارد. گاز خروجی از کوره بلند را پس از عبور دادن از غبارگیر و برج شستشو دهنده و فیلترهای الکترواستاتیکی برای مصارف حرارتی مانند گرم کردن هوا در گرم کن های کوره بلند،

کک سازی، کلوخه سازی، توربین های گازی، دیگ بخار و در منازل به کار می برند.
 شکل ۲-۴ رابطه بین مواد شارژ و محصولات کوره بلند را نشان میدهد.



شکل ۲-۴ رابطه بین مواد شارژ و محصولات کوره بلند

۲-۲- استخراج آهن به روش مستقیم

در سال های اخیر برای ذوب و تصفیه سنگ معدن آهن از کوره های مخصوصی استفاده می شود که در آن ها عمل احیا به طور مستقیم صورت می گیرد. روش هایی که برای احیای مستقیم استفاده می شوند، متنوع هستند و در آن ها ممکن است از سوخت های جامد (کک) و یا گازی استفاده شود. استفاده از روش احیای مستقیم با گاز، در کشورهایی که دارای منابع گاز طبیعی هستند باعث می شود که بتوان با سرعت بیشتر و هزینه کمتر، سنگ معدن آهن را به آهن خام تبدیل کرد. اتوماتیک کردن و کنترل تاسیسات آن نیز به مراتب ساده تر از کوره بلند است.

در این روش، احیای سنگ معدن آهن بدون ذوب انجام می شود و آهن خامی که از این نوع کوره ها به دست می آید، ۹۲ تا ۹۶ درصد آهن خالص دارد و از آن در کوره های الکتریکی برای تهیه ی فولاد استفاده می کنند. در واحدهایی همچون فولاد مبارکه اصفهان که آهن به روش احیای مستقیم از سنگ معدن استخراج می شود، قسمت های متفاوتی وجود دارد که مهم ترین آنها عبارتند از:

واحد گندله سازی:^۱ سنگ آهن مورد مصرف برای احیای مستقیم بایستی دارای

۱- Pelletizing Plant

مشخصات فیزیکی - شیمیایی و دانه بندی خاص باشد که عملیات خرد کردن، آسیا کردن، کاهش درصد ترکیبات گوگرد بر روی سنگ آهن صورت گرفته و سنگ آهن پر عیار شده با عیار ۶۸٪ آهن، گوگرد ۹٪ با دانه بندی از ۲۰ تا یک میلیمتر از معادن به کارخانه ی فولاد ارسال می گردد.

گندله سازی یکی از روش های آماده سازی سنگ آهن جهت مصرف در کوره بلند یا کوره های احیای مستقیم می باشد که هدف آن تهیه گلوله های به ابعاد ۵ تا ۱۸ میلیمتر با استحکام مناسب است. سنگ آهن ورودی به واحد گندله سازی وارد آسیاهای دارای گلوله های فولادی شده که این گلوله ها به خرد شدن بیشتر سنگ آهن در اثر گردش آسیا کمک نموده و سنگ آهن را تا حد ۸۰٪ زیر ۴۵ میکرون^۱ خرد می نماید. پس از آن سنگ آهن به همراه مواد چسبنده و افزودنی مثل بنتونیت و آهک پخته که پودر شده اند؛ در داخل دستگاه مخلوط کن، مخلوط شده و به داخل دیسک های گندله سازی تغذیه می گردند (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲- دیسکهای گندله سازی وظیفه تولید گندله خام (Pellet Green) و یا شکل دهی کروی گندله را به عهده دارند. تعداد ۸ عدد دیسک در دو ردیف چهارتایی هر یک به قطر ۷/۵ متر در شرکت فولاد مبارکه وجود دارد.

گندله خام خروجی از دیسک ها، وارد کوره ی پخت می گردند. گندله های خام از درجه حرارت ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات سخت کردن قرار گرفته و طی

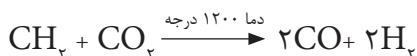
۱- هر میکرون معادل یک هزارم میلی متر است.

واکنش های صورت گرفته بین آهن، سیلیس و دیگر عناصر موجود در گندله استحکام لازم را پیدا نموده و در نهایت گندله خام با اندازه ۵ تا ۲۵ میلیمتر از کوره پخت بر روی نوار نقاله تخلیه و به واحد احیای مستقیم ارسال می گردد.

سخت کردن گندله در داخل کوره شامل چهار مرحله مشخص خشک کردن، پیش گرم کردن، پختن و سرد کردن می باشد. در مرحله خشک کردن، دمای مورد نیاز بسته به نوع سنگ آهن مصرفی از ۳۰۰ تا ۴۷۰ درجه سانتیگراد قابل تغییر است. درجه حرارت در مرحله پیش گرم در حدود ۱۰۰۰ درجه و در مرحله پختن به ۱۳۰۰ درجه می رسد و واکنش های مختلف اکسیداسیون مگنتیت و هماتیت در داخل گندله صورت می پذیرد. پس از پخت، گندله ها استحکام لازم را پیدا نموده و در مرحله نهایی یعنی سرد کردن گندله توسط عبور دادن هوای سرد از لابه لای گندله ها صورت می گیرد. ظرفیت تولید کوره پخت گندله سازی فولاد مبارکه ۶۰۰ تن در ساعت و در مجموع سالیانه حدود ۴/۵ میلیون تن گندله است.

واحد احیای مستقیم: اصول روش های احیاء مستقیم بر پایه استفاده از گاز احیا کننده است که میل ترکیبی زیادی با اکسیژن دارد و اکسید آهن را به آهن اسفنجی جامد، احیا می کند. آهن اسفنجی (DRI)^۱ عبارت است از گندله هایی که طی فرایند احیای مستقیم، اکسیژن موجود در آن حذف شده و اکسید آهن به آهن احیا گردیده و به خاطر حذف اکسیژن و متخلخل شدن، به آن آهن اسفنجی می گویند.

روش و کوره به کار گرفته شده در شرکت فولاد مبارکه از نوع میدرکس^۲ است. در روش میدرکس با شکستن گاز طبیعی متان در حضور دی اکسید کربن، گازهای احیا کننده منواکسید کربن و هیدروژن تولید می شوند. برای انجام واکنش به درجه حرارت و کاتالیزورهایی جهت تسریع در انجام واکنش نیاز است. در مبدل های کوره میدرکس واکنش زیر صورت می گیرد.



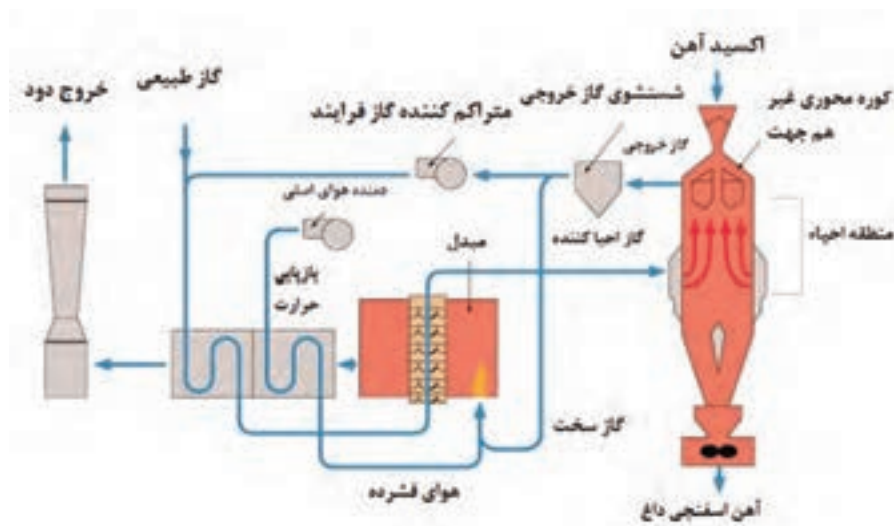
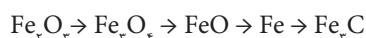
۱- DRI: Direct Reduction Iron

۲- Midrex

گندله اکسیدی تولید شده در واحد گندله سازی، پس از کنترل خواص شیمیایی و فیزیکی از بالا وارد کوره احیاء شده و در دمای حدود ۷۳۰ تا ۸۵۰ درجه سانتیگراد و در تماس با گاز احیا کننده که از سمت پائین به طرف بالا در جریان است اکسیژن خود را از دست می دهد. گاز احیاء کننده بیش از ۹۰٪ منو اکسید کربن و هیدروژن دارد. منو اکسید کربن و هیدروژن، اکسیژن موجود در گندله را جذب و به دی اکسید کربن و بخار آب تبدیل می شوند و از قسمت بالای کوره خارج می شوند (شکل ۶-۲).

احیای سنگ معدن آهن در روش مستقیم با مجموعه واکنش هایی به صورت زیر انجام

می شود:



شکل ۶-۲- شکل نمایی کوره احیاء مستقیم به روش میدرکس

$\frac{2}{3}$ گاز خروجی پس از خنک شدن و شستشو با آب، با افزودن گاز طبیعی به آن، وارد

مبدل می شود و در مجاورت کاتالیزور نیکل مجدداً به منو اکسید کربن و هیدروژن تبدیل می شود و دوباره وارد کوره می شود.

$\frac{1}{3}$ گازی که در اثر افزایش حجم ناشی از عمل احیا تولید شده، از سیکل خارج و در مبدل به عنوان منبع انرژی با هوا سوزانده می شود و حرارت لازم برای عمل بازیابی را فراهم می نماید.

در نهایت محصول احیای مستقیم، گلوله های آهن اسفنجی با خلوص فلزی بالای ۹۲٪ و کربن بالای ۱/۷٪ می باشد که پس از خنک شدن با گاز خنک کننده از پائین کوره در دمای محیط تخلیه می گردد و پس از جداسازی، گلوله های آهن به فولادسازی ارسال می شود (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- واحد احیای مستقیم فولاد مبارکه دارای ۶ واحد احیای مستقیم به روش میدرکس می باشد. ظرفیت تولید هر کوره میدرکس ۹۰ تن در ساعت است. در مجموع با بهینه سازی های انجام شده ظرفیت کل تولید تا ۵ میلیون تن آهن اسفنجی در سال افزایش یافته است.

- ۱- سنگ معدن آهن را تعریف کنید و غنی ترین آن را معرفی کنید.
- ۲- مراحل آماده کردن سنگ معدن آهن را به ترتیب نام ببرید.
- ۳- خصوصیات سوخت کوره بلند را بنویسید.
- ۴- وظیفه آهک در کوره بلند را شرح دهید.
- ۵- مشخصات عمومی کوره بلند را بنویسید.
- ۶- نحوه شارژ کردن کوره بلند را شرح دهید.
- ۷- پایین ترین منطقه کوره بلند چه نام دارد و چه عملی در آنجا انجام می گیرد؟
- ۸- موارد استفاده گازهای خروجی از کوره بلند را بنویسید.
- ۹- رابطه بین مواد شارژ و محصولات کوره بلند را بنویسید.
- ۱۱-وظیفه واحد گندله سازی در روش احیای مستقیم را بنویسید.
- ۱۲-روش احیای مستقیم آهن را توضیح دهید.
- ۱۳- کدام گزینه صحیح است:
الف- آهن به صورت آلیاژ (فولاد و چدن) کاربرد صنعتی دارد.
ب- آهن فراوان ترین عنصر فلزی در طبیعت است.
ج- آهن اغلب به صورت خالص در طبیعت یافت می شود.
د- آهن خالص، استحکام بالا و کاربرد صنعتی دارد.
- ۱۴- کدام گاز عامل احیاء اکسید آهن در کوره بلند است؟
الف- منواکسیدکربن
ب- دی اکسید کربن
ج- ازت
د- اکسیژن

چدن ها

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

- ۱- چدن را تعریف کند
- ۲- روش های تولید چدن را توضیح دهد.
- ۳- انواع چدن ها را شرح دهد.
- ۴- طبقه بندی چدن ها را شرح دهد.
- ۵- انواع گرافیت در چدن ها را توضیح دهد.

مقدمه

چدن ها گروهی از آلیاژهای آهنی با خواص گوناگون و متنوع اند که معمولاً از طریق ریخته گری تولید می شوند. برخلاف فولادها که کمتر از ۲٪ کربن دارند، چدن ها معمولاً ۲ تا ۴٪ کربن و تا ۳٪، سیلیسیم دارند. سایر عناصر فلزی و غیرفلزی نیز برای کنترل و تغییر خواص به آنها اضافه می شوند. علاوه بر ترکیب شیمیایی، عوامل مهم دیگری از قبیل فرایند انجماد، و عملیات حرارتی^۱ بعدی بر خواص آنها تأثیر می گذارد. چدن ها، عالی ترین آلیاژهای ریخته گری اند و دارای دامنه وسیعی از استحکام^۲ و سختی^۳، و در بعضی موارد خواص ماشین کاری خوبی می باشند. عناصر آلیاژی برای ایجاد مقاومت به سایش، خراش و خوردگی^۴ به آنها اضافه می شود. اصولاً کاربرد وسیع چدن ها به دلیل هزینه کم و خواص

۱- شامل حرارت دادن، نگهداری در یک درجه حرارت مشخص و سرد کردن با سرعت مشخص جهت رسیدن به خواص مطلوب.

۲- مقاومت مواد در برابر اعمال نیرو.

۳- مقاومت مواد در برابر نفوذ اجسام سخت یا خراش (سختی با استحکام ارتباط مستقیم دارد).

۴- واکنش فلزات با محیط اطراف (هوا، آب و ...) که سبب تخریب فلز و ایجاد محصولات خوردگی مانند اکسید فلز (زنگ زدگی) می شود.

مهندسی متنوع است. با وجود تولید روزافزون مواد جدید، هنوز هم چدن‌ها در بسیاری از کاربردهای مهندسی مناسب می‌باشند.

۱-۳- تولید چدن از آهن خام

چدن‌ها اکثراً به کمک کوره کوپل^۱ از طریق ذوب شمش‌های آهن خام خاکستری به دست می‌آیند. در این کوره، کربن اضافی و مواد مضر موجود در آهن خام کاهش می‌یابد و در صورت لزوم عناصر دیگری نیز به آن اضافه می‌کنند.

کوره کوپل استوانه‌ای فولادی به قطر تقریبی ۱ متر و ارتفاع ۶ تا ۸ متر است که قسمت داخلی آن با استفاده از مواد دیرگداز پوشش داده شده است. در قسمت پایین کوره کوپل، محلی برای ورود و جمع شدن مواد مذاب در نگهدارنده مذاب وجود دارد. نگهدارنده نیز دارای دو مجرای خروجی است که یکی در بالا برای خروج سرباره و دیگری در پایین برای خروج چدن مذاب در نظر گرفته شده است.

در قسمت بالای کوره، دریچه‌هایی جهت ریختن بار کوره به داخل آن وجود دارد که از آنجا شمش‌های آهن خام را به تنهایی و یا به همراه آهن قراضه و یا ضایعات ریخته‌گری، به صورت لایه لایه همراه با کک (سوخت) و آهک (کمک ذوب) به داخل کوره می‌ریزند. کمی بالاتر از قسمت تحتانی کوره کانال‌هایی برای رساندن هوای گرم به داخل آن تعبیه شده است. شکل ۱-۳ تأسیسات کوره کوپل را نشان می‌دهد. محصول کوره کوپل را چدن می‌نامند.

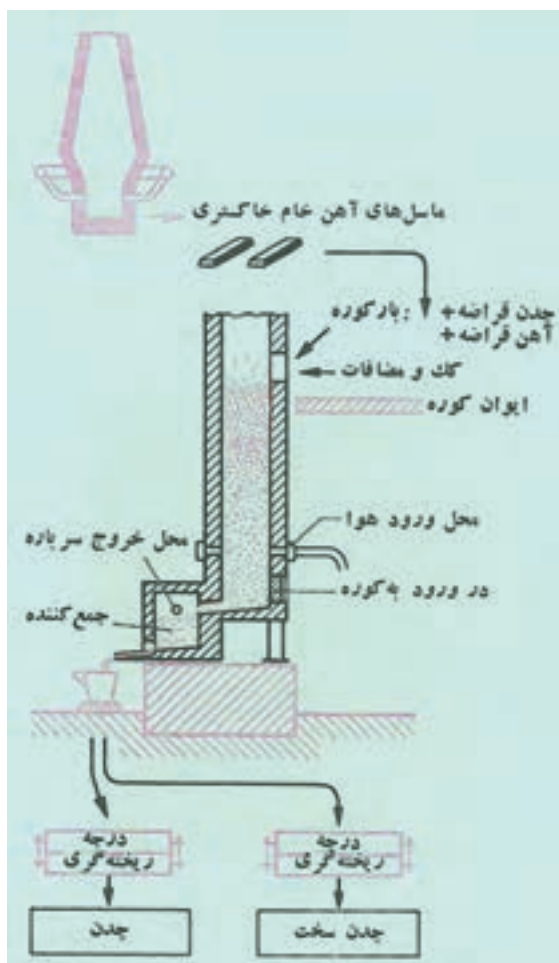
الف- مزایای چدن‌ها

۱- انعطاف پذیری در تولید: انواع روشهای ریخته‌گری نظیر ریخته‌گری در قالبهای ماسه‌ای- دائمی و فلزی، تحت نیروی گریز از مرکز و حتی ریخته‌گری تحت فشار (بخصوص برای قطعات کوچک) را می‌توان در مورد قطعات چدنی به کار برد.

۲- دارا بودن نقطه ی ذوب و ریخته‌گری پایین: برخلاف فولادها که در ذوب آن‌ها، اکثراً نیاز به استفاده از کوره‌های برقی می‌باشد چدن‌ها را می‌توان در انواع کوره‌ها، با

۱- Cupola

سوخت های مایع- جامد و گازی ذوب نمود. استفاده از کوره های زمینی و کوره های دوار در واحدهای کوچک ریخته گری ایران که اکثراً با سوخت مایع نظیر مازوت کار می کنند نتیجه مستقیم سهولت ذوب چدن‌ها در این نوع کوره هاست.



شکل ۱-۳- کوره کویل

۳- سهولت در طراحی قطعات: طراحی قطعات چدن در مقایسه با دیگر فلزات و آلیاژها با سهولت بیشتری انجام شده زیرا تغییرات جزئی در طراحی قطعات تأثیرات نامطلوبی بر خواص آنها ندارد.

۴- ارزانی قطعات تولیدی (بازده ریختگی): از آنجایی که چدنهای با گرافیت آزاد به حداقل مقدار تغذیه نیاز داشته (و حتی در مواردی نیاز به تغذیه گذاری ندارند) لذا بهره دهی قطعات چدنی می تواند تا بالای ۹۵ درصد نیز برسد.

دلیل دیگر، قیمت نسبی پایین قطعات چدنی آن است که می توان آنها را در انواع کوره های ساده و با سوخت های ارزان ذوب کرد و از طرف دیگر مواد نسوز مصرفی در تهیه قالبها- جداره ی کوره ها و پاتیل ها (در مقایسه با مواد دیرگداز در فولادریزی) از نوع ارزانتری می باشند.

۵- یکنواختی خواص مکانیکی: منظور از یکنواخت بودن خواص مکانیکی، عدم تغییر این خواص در جهات مختلف یک قطعه ی ریختگی است. چنانچه از نقاط مختلف یک قطعه ی ریختگی و در جهات متفاوت، نمونه هایی بریده شده و تحت آزمایش مکانیکی قرار گیرد؛ مشخص می شود که این نمونه ها دارای خواص یکسانی هستند. این پدیده را اصطلاحاً خواص ایزوتروپی^۱ (همسویی) قطعه می نامند. از آنجایی که یک قطعه ریختگی در هنگام کار، از جهات مختلف تحت تنشهای مکانیکی قرار می گیرد، لذا خواص ایزوتروپی از محاسن آنها به شمار می رود.

۶- سهولت ریخته گری قطعات: تولید قطعات ریختگی چدن با ضخامت های چند میلیمتر تا چندین دسیمتر، قطعات با دقت ابعادی بالا، کیفیت سطحی خوب و پیچیدگی زیاد، قطعات بسیار سنگین، قطعات ریختگی با خواص و ساختارهای چندگانه (نظیر قطعاتی که دارای سطوحی سخت و مغزی نرم هستند و یا قطعاتی که سطوح بیرونی و درونی آن دارای خواص متفاوت است) به سهولت امکان پذیر است.

۷- خواص گسترده و متنوع مکانیکی قطعات: بعد از فولادها، چدن ها دارای گسترده ترین مشخصات مکانیکی هستند. چدن ها، در موارد بسیار (نظیر میل لنگ، چرخ دنده ها، چرخ های قطار و غیره) جایگزین فولادهای کم آلیاژی گردیده اند.

از طرف دیگر استحکام فشاری چدن های خاکستری بسیار بالا و تا حدود چهار برابر استحکام کششی آن است. به همین دلیل هنگامی که استحکام فشاری قطعات ریختگی

^۱ - Isotropy

بیشتر مورد نظر باشد (نظیر پایه ها) این نوع چدن ها دارای جاذبه های بسیار زیادی می باشند.

۸- مقاومت به سایش: از آنجایی که گرافیت ماهیتاً خاصیت روغنکاری دارد لذا چدنهایی که دارای گرافیت آزاد هستند دارای مقاومت خوبی به سایش هستند. از طرف دیگر گرافیت خاصیت جذب روغن را دارا بوده لذا در ساخت بعضی از یاتاقان ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۹- عدم حساسیت به زبری سطوح: بعضی از فلزات و آلیاژها از جمله فولادها در مقابل زبری سطحی (حضور شیارهای ریز روی سطح قطعات) حساس بوده و هنگامی که قطعات تحت تنش های متغیر قرار می گیرند در اثر خستگی^۱ زودرس شکسته و تخریب می گردند. چدن ها در مقابل خراش های سطحی تحت تاثیر کمتری قرار می گیرند.

۱۰- قابلیت جذب ارتعاش و صدا: در بسیاری از قطعات، نظیر پایه ماشین های تراش، کاسه ی چرخ اتومبیل ها و به طور کلی قطعاتی که در حرکت بوده و تحت نوسانات ارتعاشی قرار دارند، خاصیت جذب ارتعاش و خفه کردن سر و صدا مورد نیاز است. از طرف دیگر در قطعاتی که کاربرد آنها توام با قرار داشتن تحت تنش های متناوب است، خاصیت جذب ارتعاش فلز، مانع از تشدید تنش ها شده و چون افزایش تنش ها می تواند موجب خستگی پیش هنگام قطعات گردد لذا خاصیت جذب ارتعاش در فلز به عنوان یک عامل افزایش عمر قطعات تلقی می گردد.

چدن های خاکستری (با گرافیت ورقه ای) دارای حداکثر قابلیت جذب ارتعاش بوده و بعد از آن به ترتیب چدن با گرافیت فشرده و انواع چدن با گرافیت کروی قرار می گیرند. فولادها به دلیل آن که عاری از کربن آزاد هستند دارای قابلیت جذب ارتعاش کمتری از چدن ها می باشند.

۱۱- ماشینکاری خوب: به علت حضور گرافیت در چدن ها، براده های حاصل از ماشین کاری منقطع بوده و لذا چدن ها دارای قابلیت ماشین کاری خوب و سطوح تمام شده ی تمیز و صافی می باشند.

۱- شکست قطعات در اثر نیروهای تکرار شونده

۱۲- قابلیت جوشکاری: اگرچه جوشکاری قطعات فولادی با سهولت بیشتری در مقایسه با چدن‌ها انجام می‌شود، به هر حال جوشکاری قطعات چدنی توسط جوشکار ماهر امکان پذیر است.

۱۳- مقاومت در مقابل خوردگی و اکسیداسیون: انواع چدن‌های آلیاژی مقاومت بسیار خوبی در برابر شرایط خورنده ی اسیدی- بازی داشته و از این لحاظ دارای مصارف بسیار زیادی هستند. از طرف دیگر، چدن های غیرآلیاژی در درجه حرا رتهای پایین (زیر ۳۵۰ درجه سانتیگراد) دارای مقاومت بیشتری به اکسیداسیون (در مقایسه با فولادهای ساده کربنی غیرآلیاژی) بوده و انواع آلیاژی آن تا درجه حرارت های حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در برابر اکسیداسیون مقاوم هستند.

ب - محدودیتهای چدن‌ها

در کنار مزایای فوق، کاربرد چدن‌ها با یک سری محدودیت ها نیز روبرو است که اهم آنها عبارتند از:

۱- خواص مکانیکی: استحکام کششی قطعات چدنی کم است که موارد مصرف آن را محدود می کند.

مقاومت به ضربه فولاد نیز از چدن ها بالاتر بوده و لذا برای قطعاتی که تحت ضربه های شدید قرار می گیرند نظیر فک های سنگ شکن ها، فولادها برتری دارند.

۲- قابلیت شکل پذیری مکانیکی: چدن ها قابلیت کارپذیری چندانی نداشته و لذا امکان تهیه ی ورق، نبشی، سپری، تیرآهن در آنها وجود ندارد. به هر حال در سالهای اخیر انجام کار مکانیکی بر روی چدن های مالیل و بعضی از انواع چدن با گرافیت کروی مطرح شده است. با این وجود چدن ها هرگز تاکنون نتوانسته اند این خصوصیت مهم را به خود اختصاص دهند.

۳- مقاومت به سایش: در مواردی که مقاومت به سایش بسیار بالایی مورد نظر باشد، سطوح قطعات فولادی را می توان از طریق کربن دهی و یا نیتروژن دهی، سخت کرد. در حالی که سختی سطوح قطعات چدنی را در اکثر موارد، فقط می توان تا مقدار کمی بالا

برد.

۴- قابلیت برشکاری و جوشکاری: برشکاری فولاد از طریق شعله (اکسی استیلن و غیره) به سهولت امکان پذیر بوده در حالی که برشکاری قطعات چدنی نیاز به وسایل و روش های خاص دارد. به همین ترتیب، جوشکاری قطعات فولادی با سهولت بیشتری انجام می شود.

۳-۲- انواع چدن ها

چدن ها را می توان با توجه به توزیع کربن در ریزساختار آنها به چهار گروه اصلی دسته بندی کرد.

از آنجاکه ترکیب شیمیایی چدن ها مشابه یکدیگر است، آنها را با تجزیه ی شیمیایی نمی توان تشخیص داد. چهار گروه اصلی چدن عبارت اند از: چدن سفید، چدن خاکستری، چدن چکش خوار و چدن نشکن. نوع پنجم چدن ها، چدن های پرآلیاژ هستند. ترکیب شیمیایی چدن های غیرآلیاژی در جدول ۳-۱ و مقدار تقریبی کربن و سیلیسیم آنها (نسبت به فولادها) در شکل ۳-۲ آمده است.

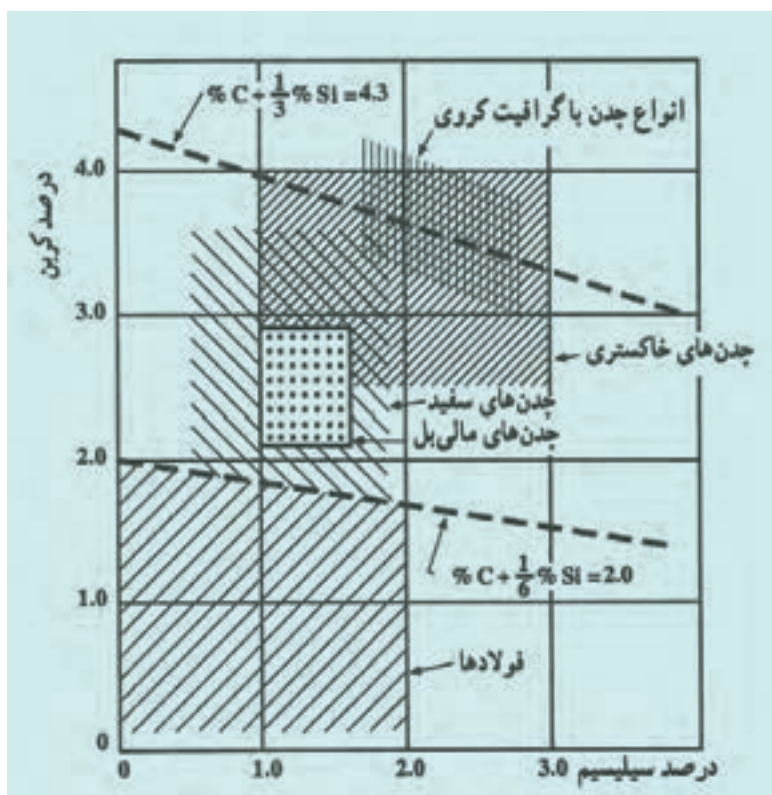
جدول ۳-۱- ترکیب شیمیایی چدنهای غیرآلیاژی					
عنصر	کربن	سیلیسیم	منگنز	فسفر	گوگرد
چدن خاکستری ^۱	۴-۲/۵	۳-۱	۱-۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۰۲	۱-۰/۰۵
چدن سفید ^۲	۳/۶-۱/۸	۱/۹-۰/۵	۰/۸-۰/۲۵	۰/۲-۰/۰۶	۰/۱۸-۰/۰۶
چدن چکش خوار ^۳	۲/۶-۲	۱/۶-۱/۱	۱-۰/۲	۰/۱۸-۰/۰۴	۰/۱۸ (حداکثر)
چدن نشکن ^۴	۴-۳	۲/۸-۱/۸	۱-۰/۱	۰/۰۳ (حداکثر)	۰/۵ (حداکثر)
۱- Grey cast iron					
۲- White cast iron					
۳- Ductile cast iron					
۴- Maleable cast iron					

۳-۲-۱- چدن سفید

چنانچه ترکیب شیمیایی چدن در محدوده مشخصی بوده (جدول ۳-۱) و یا سرد شدن مذاب در قالب به مقدار کافی سریع انجام گیرد، همه ی کربن موجود در آن به صورت ترکیب با آهن درمی آید. این ترکیب، که سمنتیت^۱ نامیده می شود، فازی است سخت، شکننده و

۱- Cementite (Fe_3C)

قسمت اعظم ساختار این نوع چدن را در بر می‌گیرد. سطح شکست این نوع چدن، سفید و بلورین است. چدن سفید دارای استحکام فشاری بالا و مقاومت به سایش عالی است. تفاوت این نوع چدن با چدن های دیگر در آن است که کربن آزاد در آن بسیار کم بوده و یا اصولاً محتوی هیچ گونه کربن آزادی نمی باشد. این حالت، چدن را سخت و شکننده کرده و آن را معمولاً غیرقابل ماشین کاری می‌سازد. همچنین به علت حضور کربن ترکیبی در این نوع چدن‌ها قطعات دارای مقاومت عالی به سایش می باشند.



شکل ۲-۳- مقدار تقریبی کربن و سیلیسیم در آلیاژهای آهنی

نوع دیگری که در این گروه از چدن ها قرار می‌گیرد، چدن های تبریدی است که قسمت هایی از قطعات چدن خاکستری را که نیاز به مقاومت در مقابل سایش دارند به صورت چدن سفید (از طریق سرد کردن آن قسمت ها) درمی آورند. این نوع چدن ها

که برای موارد مصرف خاصی تهیه می شوند معمولاً به صورت استاندارد در جداول ارائه نمی شوند.

نام چدن سفید از رنگ مقطع شکست آن گرفته شده است. چنانچه قطعه ای از چدن سفید شکسته شود، مقطع شکست آن نشان دهنده ی کریستال های سفید رنگ خواهد بود.

چدن سفید استحکام فشاری بسیار بالا به همراه مقاومت به سایش عالی بوده و می تواند این ویژگی را تا دماهای بالا حفظ کند.

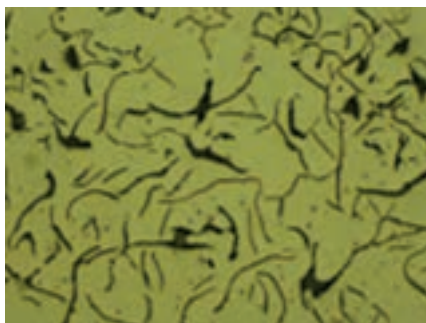
همان طوری که قبلاً گفته شد سطوح خارجی قطعات چدن خاکستری را می توان توسط سریع سرد کردن و کنترل شرایط ریخته گری، تبدیل به چدن سفید کرد.

به علت آن که چدن سفید، دارای نقطه انجماد بالاتری نسبت به انواع دیگر چدن ها می باشد لذا ریخته گری آن مشکل تر بوده و از طرف دیگر چون فاقد گرافیت آزاد است لذا دارای انقباض حاصل از انجماد بیشتری است. در نتیجه نیاز به تغذیه با ابعاد بزرگتری دارد. (زیرا حضور گرافیت در چدن باعث کاهش انقباض حاصل از انجماد قطعات می گردد).

در قسمت هایی از قطعات ریختگی که دارای ترکیب عمومی چدن خاکستری بوده اما سرعت انجماد زیاد باشد کاربرد آهن می تواند در مجاورت گرافیت های آزاد تشکیل شود. از آنجایی که مقطع شکست چنین قسمتهایی از قطعه به صورت **خالداری** است لذا این نوع چدن ها را به همین نام می شناسند.

۲-۳-۲- چدن خاکستری

اگر ترکیب شیمیایی چدن در محدوده چدن خاکستری (جدول ۱-۳) و سرعت انجماد آهسته باشد، کربن موجود در آهن به هنگام انجماد جدا می شود و لایه های گرافیتی را تشکیل می دهند (شکل ۳-۳). چدن های خاکستری بیشترین سیالیت را در میان آلیاژهای آهنی دارند و در نتیجه، مقاطع پیچیده و نازک را می توان ایجاد کرد. سطح شکست چدن خاکستری به رنگ خاکستری دوده ای است و از این رو "چدن خاکستری" نامیده



شکل ۳-۳- چدن خاکستری دارای گرافیت های لایه ای (سیاه رنگ) است.

از آنجایی که چدن خاکستری دارای ویژگی های متعدد و مفیدی است، برای ریخته گری در اشکال پیچیده و در ابعاد کوچک و بزرگ هنوز مورد علاقه مهندسين طراح می باشد. امروزه، به علت ارزانی و سادگی انجام کار، حدود ۷۵٪ وزنی تمام قطعات ریختگی از چدن خاکستری است. در این نوع چدن گرافیت لایه ای سبب ایجاد خواص ویژه ای، مثل قابلیت ماشین کاری عالی در سختی های بالا، مقاومت سایشی خوب، مقاومت به خوردگی سایشی، خود روانکاری و قدرت جذب ارتعاش عالی می شود. وقتی کارکرد در استحکام فشاری و پایداری ابعادی مورد نیاز است، چدن خاکستری با فولادهای پر استحکام قابل مقایسه است.

- دسته بندی چدن های خاکستری

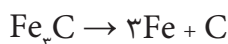
معمولاً چدنهای خاکستری را بر مبنای حداقل استحکام کششی که در یک اندازه مقطع معین به دست می آید، دسته بندی می کنند. بیشتر چدن های خاکستری، طبق استاندارد ASTM^۱ با مشخصات ۴۸A^۲ دسته بندی می شوند، که دارای گروه هایی با استحکام متفاوت می باشند. استحکام چدن های خاکستری بیشتر به ساختار زمینه، اندازه، توزیع و نوع لایه های گرافیت بستگی دارد.

۱- American Society for Testing and Materials

۲- Standard Specification for Gray Iron Castings

- اثر ترکیب شیمیایی بر ریزساختار چدن خاکستری

کربن و سیلیسیم: مهمترین عناصر آلیاژی در چدن خاکستری هستند و بیشترین اثر را بر ریزساختار آن دارند. هر چند تمام عناصر تا اندازه ای بر ریزساختار تاثیر می گذارند، عناصری که موجب گرافیت زایی (تشکیل گرافیت) می شوند پایدارکننده های گرافیت نامیده می شوند. سیلیسیم یک گرافیت زای قوی است و از نظر ترکیب شیمیایی مهمترین و تنها عامل گرافیت زایی در چدن خاکستری است. گرافیت زایی، فرایندی است که در آن یا کربن آزاد در آهن رسوب می کند یا کاربید آهن مطابق با واکنش زیر به آهن و کربن آزاد (گرافیت) تجزیه می شود.



سایر عناصر می توانند کاربید آهن را پایدارکنند و از این رو کاربیدزا نامیده می شوند. کرم، منگنز و گوگرد مثال هایی از عناصر کاربیدزا می باشند.

در چدن خاکستری کربن و سیلیسیم هر دو گرافیت زا هستند و بنابراین با افزایش درصد این عناصر امکان تشکیل چدن خاکستری نسبت به تشکیل چدن سفید افزایش می یابد. اگر مقادیر کربن و سیلیسیم به حد کافی نباشد، چدن سفید تشکیل می شود. میزان سیلیسیم چدن خاکستری بین ۱ تا ۳/۵٪ وزنی تغییر می کند.

بسیاری از خواص چدنهای خاکستری به عاملی که کربن معادل (CE)^۱ نامیده می شود، ارتباط دارد. کربن معادل میزان تاثیر کربن و سیلیسیم چدن را طبق رابطه ی زیر نشان می دهد:

$$\text{CE} = \text{\%C} + \frac{1}{3} \text{\%Si}$$

گوگرد و منگنز: گوگرد تا اندازه ای در تمام چدنهای وجود دارد. اثر گوگرد را باید با توجه به واکنش آن با منگنز در نظر گرفت.

اگر در چدن ها منگنز نباشد، گوگرد با آهن ترکیب شده و سولفید آهن (FeS) تشکیل می شود که تاثیر نامطلوبی بر خواص چدنهای دارد. وقتی منگنز در چدن وجود دارد، سولفید منگنز (MnS) تشکیل می شود. ذرات MnS تأثیر نامطلوب کمی بر قابلیت ریخته گری و

۱- Carbon equivalent

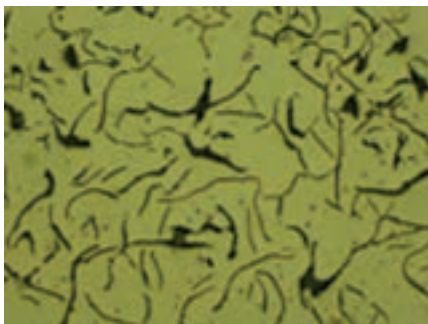
خواص موردنظر چدنهای خاکستری تجاری دارند.

گوگرد و منگنز به تنهایی گرافیت زایی در چدن‌ها را محدود می‌کنند بنابراین، در چدن‌ها گوگرد یا منگنز به تنهایی کاربیدزا هستند. اما، وقتی هر دو عنصر حضور دارند اثر کاربیدزایی خنثی می‌شود.

فسفر: چدنهایی که فسفر کافی دارند، به خصوص چدنهای خاکستری، می‌توانند یک ترکیب خاص فسفید آهن که استدیت^۱ نامیده می‌شود تشکیل دهند. استدیت نقطه ذوب پایینی دارد و در دماهای نسبتاً پایین منجمد می‌شود. افزایش مقدار استدیت یعنی بیش از ۰/۳٪ فسفر سختی و شکنندگی چدن را افزایش و قابلیت ماشین کاری را کاهش می‌دهد. از طرفی، این ترکیب سخت مقاومت سایشی را افزایش می‌دهد و بنابراین در بعضی موارد حضور آن مطلوب است. رابطه کربن معادل با حضور فسفر:

$$CE = \%C + \frac{1}{3} (\%Si + \%P)$$

شکل گرافیت: به هنگام انجماد چدن خاکستری، گرافیت‌های لایه‌ای با اندازه، شکل و نحوه توزیع مختلف به دست می‌آید. استحکام نسبتاً کم چدن‌های خاکستری مربوط به لایه‌های گرافیت تشکیل شده است که هرچه این لایه‌ها ضخیم‌تر باشد، استحکام چدن کاهش می‌یابد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- هرچه لایه‌های گرافیت بیشتر و ضخیم‌تر باشند، استحکام چدن کاهش می‌یابد.
استحکام چدن (ب) از (الف) کمتر است.

مقاومت سایشی: چدن خاکستری مقاومت خوبی به سایش از نوع لغزش اصطکاکی دارد.

۱- Stedite

به این دلیل این چدن‌ها در محل‌هایی که سطوح نسبت به هم در حرکت اند مثل سیلندرها و رینگ پیستون‌ها در موتورهای احتراق داخلی و یا هر نوع حرکت لغزشی در ماشین‌های ابزار به کار می‌روند. چدن خاکستری دارای مقاومت عالی به خوردگی و سایش است، این امر ناشی از اثر روغنکاری گرافیت‌ها و باقی ماندن روغن در مناطق گرافیتی است.

قابلیت ماشین‌کاری: چدن خاکستری یکی از بهترین آلیاژهای آهنی با قابلیت ماشین‌کاری خوب است. زمینه‌ی اصلی چدن‌ها، که استحکام و سختی بالاتری دارد، با سرعت‌های کمتری ماشین‌کاری می‌شود. با وجود این، در چدن‌های خاکستری این زمینه بهترین ترکیب قابلیت ماشین‌کاری و مقاومت سایشی را دارد.

قابلیت جذب/ارتعاش: قابلیت جذب ارتعاش عبارت است از توانایی یک ماده برای جذب انرژی ناشی از ارتعاشات و از بین بردن آن. چدن خاکستری و به خصوص نوعی که درصد گرافیت لایه‌ای آن زیاد است، قابلیت جذب ارتعاش بالایی دارد. برای بعضی کاربردها قابلیت جذب ارتعاش چدن خاکستری از مهمترین مزایای آن است (شکل ۵-۳). پوسته‌ی جعبه دنده، سیلندرها، و سرسیلندرها مواردی هستند که از خاصیت جذب ارتعاش چدن خاکستری استفاده می‌شود.



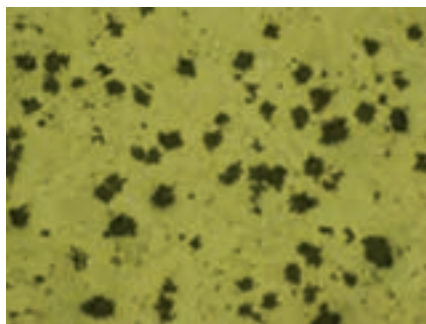
شکل ۵-۳- کاربرد چدن خاکستری

۳-۲-۳- چدن چکش خوار (مالیبل)

کربن در این نوع چدن بیشتر به صورت شبه کروی (برفکی) ازگرافیت و با اشکال نامنظم می باشد (شکل ۳-۶). چدن چکش خوار ابتدا به صورت چدن سفید و با ترکیب شیمیایی مناسب ریخته گری می شود. سپس در حین عملیات حرارتی، چدن سفید در دمای بالای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت زمان طولانی، گرافیت از تجزیه سمنتیت به وجود آمده و به



با تغییر دادن عملیات حرارتی، می توان چدن چکش خوار با خواص مکانیکی مختلف به دست آورد. از آنجا که ابتدا برای تولید چدن سفید انجماد سریعی لازم است؛ لذا ضخامت قطعات چدن چکش خوار محدود است.



شکل ۳-۶- چدن چکش خوار، ساختار گرافیت برفکی با اشکال نامنظم

تا قبل از اختراع چدن های نشکن، چدن چکش خوار یکی از آلیاژهای خوب مهندسی بود زیرا دارای خواص مطلوبی از قبیل قابلیت ریختگی، ماشین کاری، چقرمگی^۱ و شکل پذیری، مقاومت به خوردگی برای کاربردهای خاص، استحکام کافی و یکنواختی می باشد که ناشی از انجام عملیات حرارتی بر روی قطعات ریختگی است.

چقرمگی مناسب، در این نوع چدن ها سبب استفاده وسیع آنها شده بود که از آن جمله می توان به ساخت قطعاتی نظیر قیدها، اکسل، پوسته دیفرانسیل، زیرفنی کامیون ها، ابزارهای دستی، اتصالات آب و گاز و پایه های نگاهدارنده مقره های برق را اشاره کرد.

۱- دارا بودن استحکام به همراه قابلیت انعطاف پذیری بالا

تهیه چدن مالیل از چدن سفید: از آنجایی که چدنهای مالیل از چدن سفید تولید می گردد و چدن سفید هنگامی به دست می آید که سرعت انجماد مذاب سریع باشد؛ بنابراین قطعات تولیدی از نظر ضخامت با محدودیت روبرو هستند. به بیان دیگر، هر قدر ضخامت بیشتر شود؛ سرعت سرد شدن مذاب، کمتر بوده و لذا تولید چدن سفید با مشکلات بیشتری همراه است. به هر حال با افزودن عناصری نظیر بیسموت و یا منیزیم به همراه عناصر قلیایی خاکی می توان این مشکل را تا حدود زیادی حل کرد.

علاوه بر شکل گرافیت در چدنهای مالیل، می توان با کنترل زمینه این نوع چدن‌ها نیز به مشخصات مکانیکی بسیار متنوعی دست یافت. زمینه های متفاوت را می توان توسط سرد کردن سریع قطعات در هنگام عملیات حرارتی و یا افزودن عناصری به مذاب به دست آورد.

خواص مهندسی: با عملیات حرارتی، ساختار ترد چدن سفید به ساختاری نرم و چقرمه که دارای گرافیت‌های شبه کرووی در زمینه نرم است تغییر می کند. بنابراین، از مزایای چدن چکش خوار، ایجاد گستره ای وسیع از استحکام با کنترل دقیق عملیات حرارتی است.

چدن چکش خوار، قابلیت ماشینکاری بسیار خوبی دارد. از آنجا که تمام قطعات ریختگی عملیات حرارتی می شوند، دارای ساختاری یکنواخت و در نتیجه قابلیت ماشینکاری خوب می باشند. چدن چکش خوار را می توان با کیفیت سطحی خوب ماشینکاری کرد، این نوع چدن دارای مقاومت سایشی خوب و توانایی عالی برای سخت شدن سطحی یا عمقی با شعله یا روش القایی نیز می باشد.

۴-۲-۳- چدن نشکن

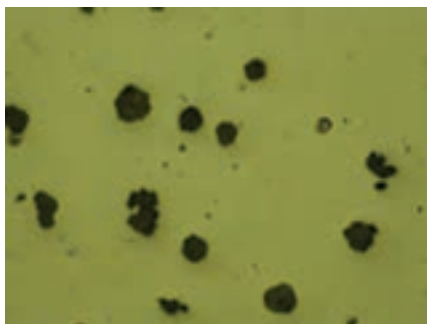
کربن آزاد موجود در چدن نشکن کرووی است. به این دلیل به این نوع چدن، چدن با گرافیت کرووی (SG)^۱ گویند. ساختار میکروسکوپی چدن نشکن در شکل ۷-۳ آمده است. اگر قبل از ریخته گری چدن با ترکیب شیمیایی چدن خاکستری کمی منیزیم به مذاب افزوده شود، گرافیت کرووی به دست می آید. ترکیب شیمیایی چدن نشکن، شبیه به چدن خاکستری است، اما مقدار گوگرد و فسفر آن کمتر است. چدن نشکن دارای استحکام

۱- Spheroidal Graphite

خوب و شکل پذیری قابل قبولی می باشد و برعکس چدن چکش خوار، می توان آنها را با ضخامت های مختلف (نازک و ضخیم) ریخته گری کرد.

این نوع چدن بعد از چدن خاکستری بیشترین مصرف را در میان انواع چدن ها دارد. تولید این نوع چدن ها از زمان پیدایش آنها (سال ۱۹۴۰ میلادی) سالانه رو به افزایش است. مهم ترین دلیل مصرف بالای این نوع چدن ها، مشخصات مکانیکی مطلوب آنها (استحکام بالا و قابلیت انعطاف عالی) به همراه خواص خوب چدن خاکستری نظیر ریخته گری آسان، ماشینکاری خوب و مقاومت آنها در مقابل خوردگی است.

به هنگام انجماد چدن نشکن، کربن بیشتر به صورت گرافیت کروی تشکیل می شود. از آنجا که گرافیت موجود در چدن نشکن به جای لایه ای شکل، کروی است خواص این چدن بسیار متنوع است. چدن نشکن دارای خواص چدن خاکستری، از قبیل نقطه ذوب پایین، سیالیت، قابلیت ریخته گری خوب، ماشین کاری عالی، و مقاومت سایشی خوب می باشد، از طرف دیگر استحکام، شکل پذیری، چقرمگی و توانایی کار گرم این نوع چدن ها مطلوب است.



شکل ۷-۳- چدن نشکن، ساختار نشان دهنده گرافیت کروی منظم (تیره)

برای ایجاد گرافیت کروی در چدن نشکن، ناخالصی های اکسیژن و گوگرد در آهن مذاب باید حذف شود. در غیاب این ناخالصی ها، رشد طبیعی گرافیت موجب کروی شدن آنها می شود. برای انجماد چدن نشکن، مقدار حدود ۱/۰٪ منیزیم به مذاب حاوی ۳ تا ۴٪ کربن و ۱/۸ تا ۲/۸٪ سیلیسیم، اضافه می شود. نقش منیزیم، گوگرد زدایی و اکسیژن زدایی مذاب

است.

اثر ترکیب شیمیایی بر خواص و ساختار چدن نشکن

کربن و سیلیسیم: میزان کربن چدنهای نشکن بین ۳ تا ۴٪ تغییر می کند، اما میزان کربن معمول بین ۳/۶ تا ۳/۹٪ است. برای افزایش چگالی گرافیت های کروی، نسبت به چدن خاکستری مقدار بیشتری کربن لازم است. مقدار سیلیسیم چدن نشکن بین ۱/۸ تا ۲/۸٪ متغیر است، اما میزان کمتر ۲/۲ تا ۲/۷٪ نیز معمول است. سیلیسیم بر میزان «کربن معادل» اثر می گذارد، بنابراین هر چه مقدار سیلیسیم افزایش یابد، تعداد کره ها (گرافیت ها) نیز افزایش می یابد. سیلیسیم همچنین باعث استحکام زمینه در چدن نشکن می شود.

گوگرد: معمولاً مقدار گوگرد را در چدن نشکن به کمتر از ۰/۰۳٪ محدود می کنند. افزایش مقدار گوگرد بدین معنی است که باید منیزیم بیشتری برای کروی کردن گرافیتها اضافه شود. میزان گوگرد پس از عملیات کروی کردن حدود ۰/۰۱۵٪ است.

فسفر: از آنجا که فسفر ساختار ترد استدییت را تشکیل می دهد، بر خواص مقاومت به ضربه و شکل پذیری اثر عکس دارد. حداکثر مقدار فسفر حدود ۰/۱٪ مشخص شده است، اما معمولاً به کمتر از ۰/۰۵٪ محدود می شود.

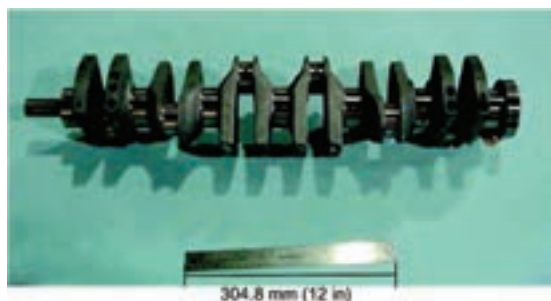
سایر عناصر: عناصری از قبیل سرب، تیتانیوم، آلومینیوم، آنتیموان و زیرکونیم باید به دقت کنترل شوند زیرا این عناصر تشکیل گرافیت های لایه ای را ترجیب می کنند. سایر عناصر که تشکیل کاربید آهن را میسر می سازند، مانند آرسنیک، بر، کرم، قلع و وانادیم نیز باید کنترل شوند. چدنهای نشکن آلیاژی با اضافه شدن منگنز، نیکل و مولیبدن ساخته می شوند.

به طور کلی چدن نشکن ترکیبی از خواص چدن خاکستری و فولاد را دارد. مواد آهنی دیگر نمی توانند به اندازه چدن نشکن خواص متنوع داشته باشند. چدن نشکن دارای سیالیت و قابلیت ریخته گری خوب، قابلیت ماشین کاری عالی و مقاومت سایشی خوب می باشد، به علاوه، بعضی خواص چدن نشکن شبیه به خواص بعضی فولادهاست، از قبیل استحکام، چقرمگی، شکل پذیری، قابلیت کار گرم، و سختی پذیری مطلوب.

مقاومت سایشی: گرافیت کروی، قدرت نگهداری روغن را دارد از این رو از سایش و خوردگی سایشی قسمت های متحرک به خصوص در شروع کار جلوگیری می کند. مقاومت سایشی چدن نشکن معادل با چدن خاکستری است.

قابلیت ماشین کاری: چدن نشکن در مقایسه با چدن خاکستری، در سختی یکسان، دارای قابلیت ماشین کاری بهتری است.

کاربرد چدن نشکن در بدنه شیرها، پمپ ها، غلتک ها، میل لنگ ها، قطعات خودرو و چرخ دنده ها با استحکام بالا و قطعات مقاوم به سایش و شوک است (شکل ۸-۳).



شکل ۸-۳- کاربرد چدن نشکن

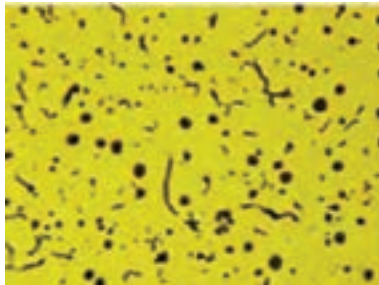
۵-۲-۳- چدن با گرافیت فشرده

این نوع چدن‌ها در میان انواع چدن‌ها نسبتاً جدید می‌باشند. استحکام آنها با انواع چدن باگرافیت کروی و چدن مالیل برابری کرده و قابلیت ریخته‌گری آن مشابه چدن خاکستری است. شکل کربن در این نوع چدن‌ها حد فاصل مابین گرافیت کروی و لایه‌ای بوده یعنی کربن به صورت فشرده کرمی شکل (نوع خمیده) می‌باشد (شکل ۹-۳).

موارد مصرف این نوع چدن‌ها در ساخت کاسه ترمز اتومبیل‌ها، چرخ دنده‌های خارج از محور، سیلندرها و بدنه سیستم‌های هیدرولیکی، اتصالات و لوله‌آگزوز، فلاپویل و پوسته‌های مختلف مربوط به اتومبیل‌ها، کامیون‌ها و دیگر اجزای ماشین‌های صنعتی است.

خواص مکانیکی این نوع چدن‌ها، در بین چدن با گرافیت کروی و چدن خاکستری قرار دارد. همان‌طوری که قبلاً گفته شد، چدن با گرافیت کروی از چدن خاکستری مستحکم‌تر و دارای انعطاف‌پذیری و چکش‌خواری به مراتب بهتری است. در مقابل چدن خاکستری به دلیل شکل گرافیت لایه‌ای در آن قابلیت جذب ارتعاش بیشتری دارد (برای مثال در پایه ماشین‌های تراش بایستی از چدن خاکستری استفاده گردد زیرا سر و صدای ماشین را در خود خفه می‌سازد). چدن با گرافیت فشرده ضمن آن که دارای خواص مکانیکی خوبی است قابلیت جذب ارتعاشی مابین چدن خاکستری و چدن با گرافیت کروی دارد.

نحوه‌ی تهیه‌ی این نوع چدن شبیه چدن با گرافیت کروی بوده، با این تفاوت که مقدار منیزیم اضافه شده به مذاب حدوداً نصف می‌شود. از طرف دیگر، اضافه کردن عناصری نظیر تیتانیوم در مقادیر جزئی به مذاب نیز ضرورت دارد.



شکل ۹-۳- چدن با گرافیت فشرده، شکل گرافیت به صورت فشرده کرمی شکل (نوع خمیده)

- ۱- مراحل تولید چدن از آهن خام را شرح دهید.
- ۲- بعضی از مزایای چدن‌ها به عنوان ماده مهندسی چیست؟
- ۳- ساختار چهار نوع اصلی چدن را ذکر کنید.
- ۴- چه خواصی باعث می شود چدن‌های خاکستری در زمره مفیدترین مواد مهندسی قرار گیرند؟
- ۵- عناصر گرافیت زا و کاربیدزا در چدن خاکستری را نام ببرید.
- ۶- کربن معادل در چدن خاکستری چیست؟
- ۹- تاثیر گوگرد و منگنز در چدن‌ها را توضیح دهید.
- ۱۰- استدیت چیست؟
- ۱۱- مشخصات و خصوصیات گرافیت در چدن خاکستری چیست.
- ۱۲- مزایای چدن نشکن از نظر مهندسی چیست؟
- ۱۳- مکانیزم کروی شدن گرافیت چیست؟
- ۱۴- حدود ترکیب کربن، گوگرد و فسفر در چدن نشکن را بنویسید. علت را توضیح دهید.
- ۱۵- با عملیات حرارتی چگونه استحکام و ساختار چدن نشکن عوض می شود؟
- ۲۱- مزایای چدن چکش خوار چیست؟ معایب عمده آنها چیست؟
- ۲۳- رینگ پیستون از چه نوع چدنی ساخته می شود؟
- ۲۴- مشخصات چدن خاکستری با گرافیت کروی را بنویسید.
- ۲۵- روش تهیه چدن مالیبل و مورد استفاده آن را بنویسید.
- ۲۶- روش تهیه چدن با گرافیت فشرده و کاربرد آن را بنویسید.

فولادها

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

۱- فولاد را تعریف کند.

۲- تقسیم بندی فولادها را توضیح دهد.

۳- فولادهای کربنی را توضیح دهد.

۴- فولادهای آلیاژی را توضیح دهد.

مقدمه

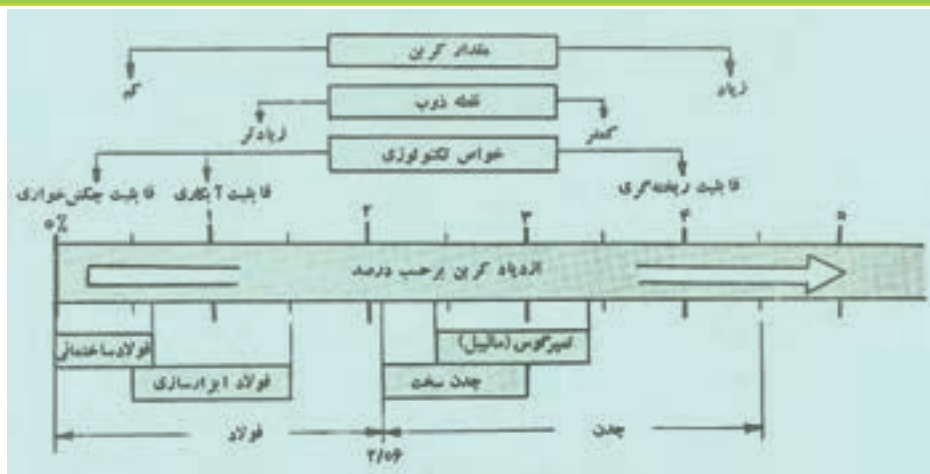
فولادها و چدن ها، آلیاژهایی از آهن و کربن هستند که عناصر دیگری (نظیر منگنز، سیلیسیم، گوگرد و فسفر) نیز به همراه دارند. در این میان کربن نقش مهمی دارد و مقدار آن تعیین کننده ی قسمت اعظم خصوصیات آنها (قابلیت عملیات حرارتی، آبکاری^۱، ریخته گری، افزایش استحکام و غیره) است.

اگر مقدار درصد کربن از ۲/۰۶ درصد کمتر باشد محصول را فولاد نامیده و چنانچه مقدار آن از ۲/۰۶ تا ۴/۵ درصد باشد آن را چدن گویند. البته فولادهای آلیاژی نیز یافت می شوند که تا ۲/۲ درصد کربن دارند. نمودار ۱-۴ طبقه بندی فولاد و چدن و درصد کربن آنها را نشان می دهد.

۱-۴- تولید فولاد از آهن خام

آهن خام به دست آمده از کوره بلند محصولی است که ناخالصیهای زیادی دارد و به خاطر داشتن کربن زیاد (۳ تا ۴ درصد)، قابلیت شکل پذیری، چکش خواری و جوشکاری ندارد؛ بنابراین لازم است که طی عملیاتی، مقدار کربن آن را کاهش داد و سایر عناصر موجود در آهن خام (گوگرد، فسفر، سیلیسیم و منگنز) را به حد قابل قبولی رساند.

۱- رسوب و ایجاد لایه نازک فلز روی قطعه از محلول نمک های آن فلز به کمک جریان برق



نمودار ۱-۴- طبقه بندی فولاد و چدن و درصد کربن آنها

برای تهیه ی فولاد از آهن خام ، روشهای مختلفی به کار می رود که در تمام آنها سعی بر این است که با سوزاندن (اکسید کردن) و یا خارج کردن عناصر غیرضروری، فولاد مورد نظر را به دست آورند. این روشها عبارتند از:

۱-۴-۱- روش توماس- بسمر: مبدل توماس به شکل گلابی است که کنورتور نیز نامیده می شود. ساختمان خارجی کنورتور از ورق فولادی است و پوششی داخلی آن از دولومیت^۱ ساخته می شود. دولومیت ماده ای دیرگداز است که از کربناته های مضاعف کلسیم و منیزیم تشکیل شده است. کنورتور توماس حول محور افقی قابل حرکت است و در کف آن سوراخ هایی برای دمیدن هوا به داخل کنورتور وجود دارد.

روش کار در کنورتور توماس به این ترتیب است که ابتدا آن را در وضعیت بارگیری قرار می دهند و داخل آن را از آهن خام مذاب تا حد معینی پر کرده و به آن آهک نیز اضافه می کنند. سپس کنورتور را به وضع عمودی در می آورند و درضمن این حرکت عمل دمیدن هوا با فشاری معادل ۲ اتمسفر به داخل آن شروع می شود.

عبور هوا که دارای اکسیژن است، باعث اکسیداسیون (سوختن) کربن، سیلیسیم و منگنز می شود. در این حال اکسیدهای سیلیسیم و منگنز به سمت بالای مواد مذاب هدایت و

۱- Dolomit

اکسیدهای کربن به صورت گاز از آن خارج می شوند. همچنین فسفر موجود در آهن خام نیز اکسید می شود؛ ولی در داخل آهن خام مذاب باقی می ماند. آهکی که در هنگام بارگیری به آهن خام مذاب اضافه شده بود باعث جذب اکسید فسفر می شود و آن را در سطح مذاب به صورت سرباره نگه می دارد.

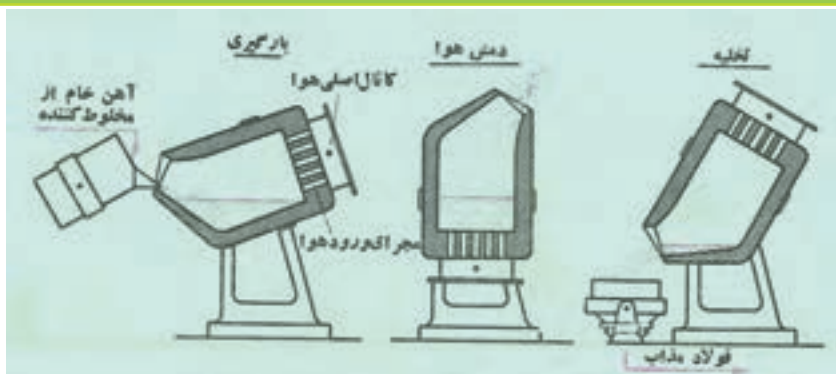
دمیدن هوا از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه ادامه می یابد و این عمل باعث می شود، که در هنگام اکسید شدن عناصر اضافی، درجه حرارت آهن خام مذاب از ۱۳۰۰ درجه به ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کند.

پس از نمونه برداری و اطمینان از میزان درصد عناصر موجود در مذاب، کنورتور را به حالتی در می آورند که عمل تخلیه فولاد مذاب به راحتی امکان پذیر شود. در این مرحله ابتدا سرباره را تخلیه می کنند و سپس فولاد مذاب را در داخل پاتیل های مخصوص می ریزند و برای عملیات بعدی حمل می کنند.

از سرباره کنورتور توماس بخاطر داشتن فسفر زیاد، برای تهیه کود شیمیایی استفاده می کنند. فولادی که از این کوره به دست می آید، به فولاد توماس معروف است و ۰/۵ تا ۰/۵ درصد کربن دارد. این فولاد قابلیت آهنگری و جوشکاری خوبی دارد و از آن برای تهیه انواع پروفیل ها، میله ها، ورق ها، نبشی ها، تیرآهن ها و غیره استفاده می کنند.

چون پوشش کنورتور توماس خاصیت قلیایی دارد، لذا باید از این کنورتور برای بازیابی آهنهای خامی استفاده کرد که خاصیت قلیایی (فسفر و گوگرد زیاد، سیلیسیم کم) دارند. برای بازیابی آهنهای خامی که خاصیت اسیدی (فسفر و گوگرد کم، سیلیسیم زیاد) داشته باشند از کوره بسمر استفاده می شود که کاملاً مشابه کوره توماس است و فرق آن در جنس پوشش عایق آن می باشد که از آجر نسوز سیلیکات تشکیل شده است.

چون در کنورتور توماس و یا بسمر عمل بازیابی به کمک دمیدن هوا انجام می گیرد، بخشی از ازت موجود در هوا جذب فولاد می شود و این خود یکی از معایب فولادهایی است که با این روشها تهیه می گردند. در شکل ۲-۴ مراحل تهیه فولاد در روش توماس-بسمر را مشاهده می نمایید.



الف ب ج
 شکل ۲-۴- مراحل تهیه فولاد در روش توماس- بسمر
 الف- مرحله بارگیری، ب- مرحله دمیدن هوا، ج- مرحله تخلیه

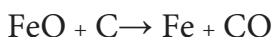
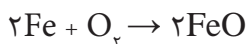
۲-۱-۴- روش زیمنس- مارتین: در این روش آهن خام را به صورت مذاب و یا جامد به همراه آهن قراضه و سنگ معدن آهن از طریق دریچه های متعددی که روی دیواره کوره وجود دارد، به داخل آن می ریزند و برای تصفیه ناخالصیها، آهک نیز به آن اضافه می کنند. مزیت عمده این روش در استفاده زیاد از آهن قراضه است.

در کوره زیمنس- مارتین برای تولید حرارت، از سوخته های مایع یا گاز و هوای گرمی که از گرم کنها عبور داده می شوند، استفاده می کنند. معمولاً هر کوره دارای دو سری گرم کن است که در هر سری، یک گرم کن بزرگتر برای گرم کردن هوا و یک گرم کن کوچک تر برای گرم کردن ماده سوختنی وجود دارد. استفاده از گرم کنها به تناوب انجام می شود و زمانی که یک سری از آنها برای گرم کردن هوا و گاز به کار می رود، سری دیگر به وسیله گاز خروجی گرم کوره، حرارت داده می شود. به این ترتیب عمل احتراق در کوره به تناوب انجام می گیرد. کف کوره به شکل قوس دار ساخته شده و برای خروج راحت تر فولاد مذاب از یک طرف دارای شیب می باشد.

احتراق گاز و هوای گرم و همچنین سوختن مواد اضافی و کربن، باعث می شود که درجه حرارت کوره تا ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد بالا رفته و در نتیجه تولید فولادهای کربنی و فولادهای آلیاژی را امکان پذیر سازد.

عمل بازیابی در این کوره ها برحسب ظرفیت از ۶ تا ۱۰ ساعت ادامه دارد. چون در بیشتر

روشهای جدید تهیه فولاد، روش دمش اکسیژن یکی از اقتصادی ترین آنها است، به جای هوا که در حدود $\frac{4}{5}$ آن را ازت تشکیل داده ، از اکسیژن خالص استفاده می کنند. در این روش برعکس کنورترهای توماس و بسمر که هوا از سوراخهای زیر آن به داخل مواد مذاب دمیده می شد، اکسیژن خالص از بالا به وسیله لوله مخصوصی که با آب خنک می شود با فشار ۴ تا ۱۲ اتمسفر به سطح مذاب دمیده می شود. روش کار کنورتر به این ترتیب است که ابتدا آنها را در وضع بارگیری قرار می دهند و آهن خام مذاب، آهک و قراضه آهن (در حدود ۳۰ درصد) را به داخل آن می ریزند. سپس آن را به حالت عمودی برمی گردانند و به سطح آن اکسیژن خالص می دمند. اکسیژن خالص با حمام مذاب واکنش انجام می دهد و اکسید آهن تشکیل می شود. کربن فولاد با اکسید آهن ترکیب می شود و منواکسیدکربن تشکیل می دهد.

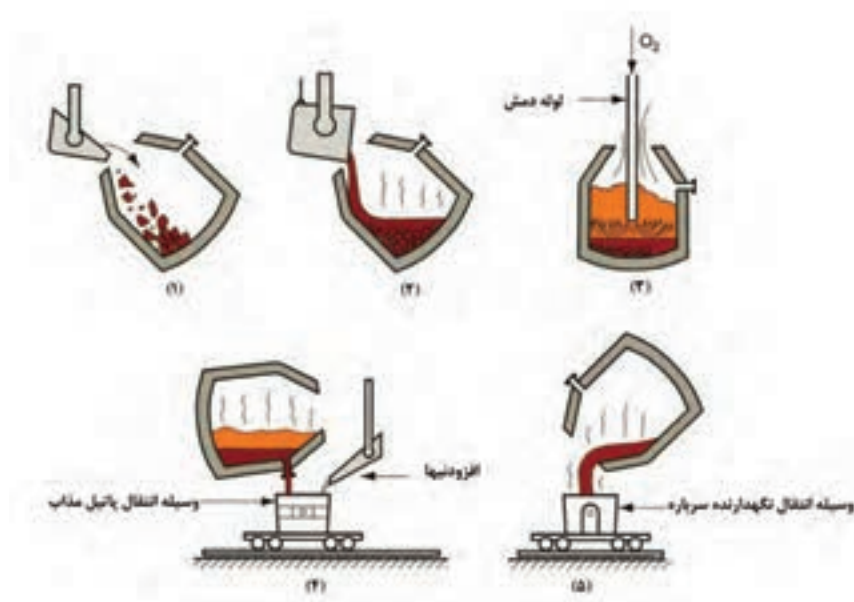


استفاده از اکسیژن باعث سوختن سریع مواد اضافی و کربن شده و درجه حرارت کنورتر را به سرعت تا حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد افزایش می دهد. وجود این درجه حرارت بالا؛ نه تنها استفاده از آهن قراضه را امکان پذیر می کند، بلکه استفاده از آن را به عنوان سرد کننده برای جلوگیری از سوختن مذاب، الزامی می نماید. برای تهیه هر تن فولاد ۸۵ مترمکعب اکسیژن مورد نیاز است.

برای تولید ۲۰۰ تن فولاد، حدود ۴۵ دقیقه زمان لازم است، تولید همین میزان فولاد با کوره زیمنس-مارتین حدود ۶ تا ۱۰ ساعت طول می کشد.

پس از عملیات آماده سازی مذاب و نمونه برداری، و همچنین اطمینان از درصد عناصر مورد لزوم در مذاب، کنورتر را به حالتی درمی آورند که بتوان فولاد مذاب را از دریچه هایی که در بالای بدنه آن تعبیه شده است، تخلیه کرد. پس از این مرحله، عمل تخلیه سرباره با چرخش کنورتر در جهت مقابل انجام می شود. شکل ۴-۴ مراحل تهیه فولاد با روش دمش اکسیژن را نشان می دهد. فولادی که با این روش تهیه می شود مرغوب تر و بدون

ازت است.

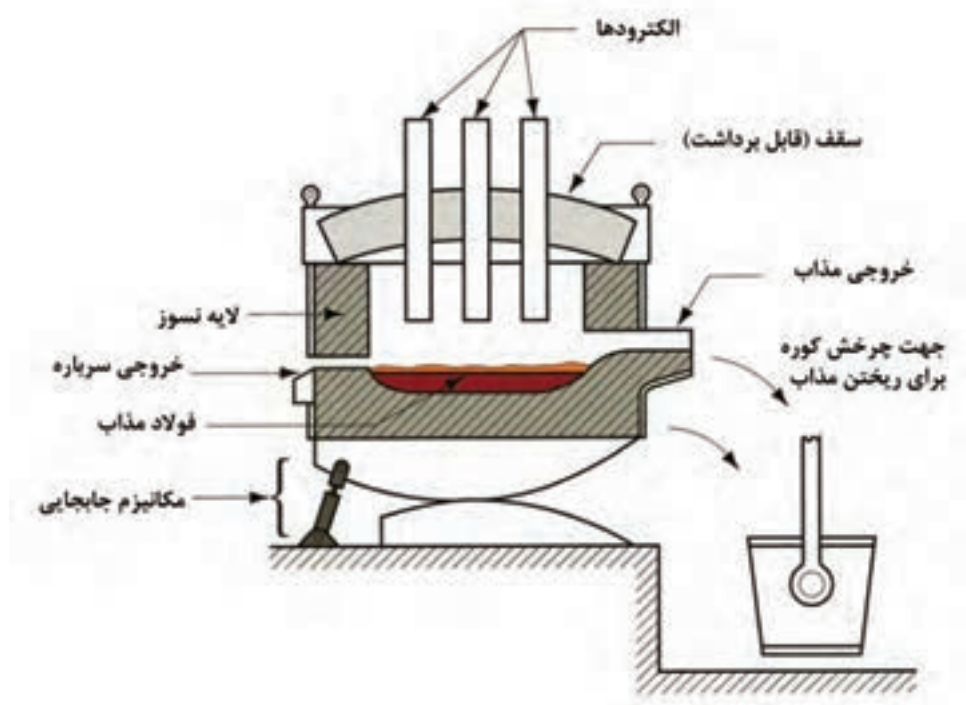


شکل ۴-۴- کوره دمش اکسیژن.
(۱) بارگیری قراضه، (۲) مذاب آهن خام، (۳) دمش اکسیژن، (۴) تخلیه فولاد مذاب، (۵) تخلیه سرباره

۴-۱-۴ کوره قوس الکتریکی: کوره های قوس الکتریکی مدرن معمولاً با جریان برق سه فاز کار می کنند و سه الکتروود گرافیتی دارند که در اثر عبور جریان برق از الکتروودها (از طریق موادی که در کوره ریخته می شوند)، سبب تشکیل قوس الکتریکی شده و ایجاد درجه حرارتی تا ۳۵۰۰ درجه سانتی گراد را امکان پذیر می کند. به دلیل ایجاد درجه حرارت بالا در این کوره ها می توان در آنها حتی فلزات دیرگدازی مانند تنگستن، تانتالیم و مولیبدن را نیز ذوب و با فولاد آلیاژ کرد و از این طریق، فولادهای آلیاژی بسیار مرغوب بنام فولادهای نجیب به دست آورد.

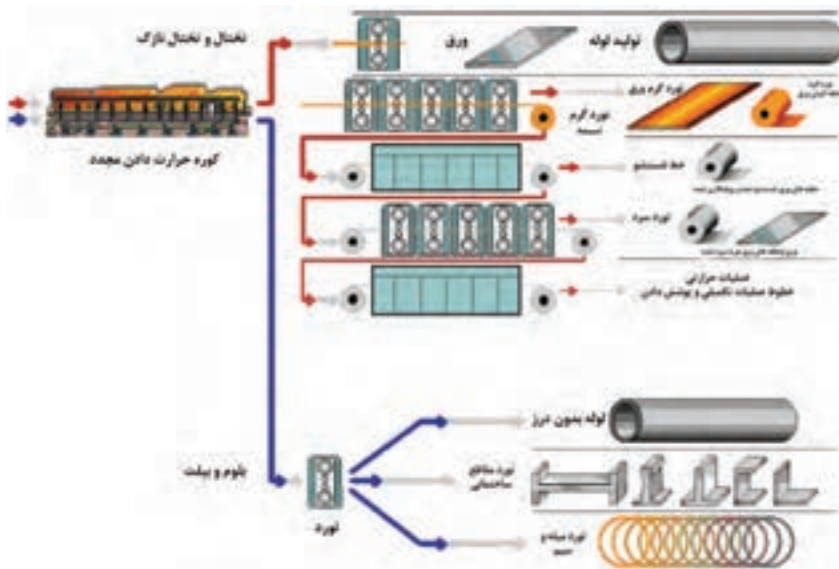
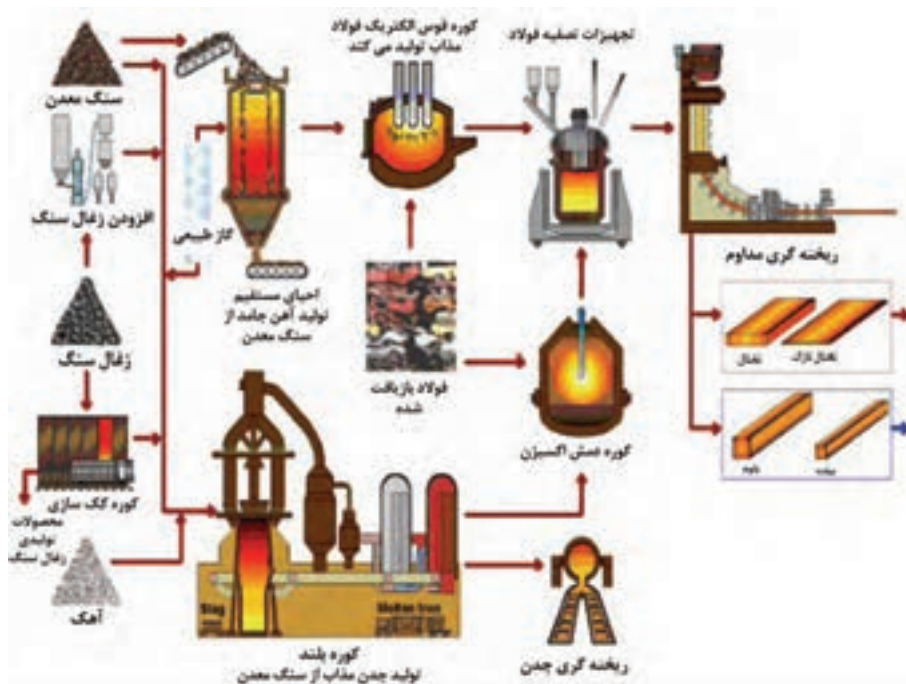
بار این کوره ها از فولادهای بازیابی شده (توماس- بسمر، دمش اکسیژن و زیمنس- مارتین) انتخاب می شود. همچنین به همراه آن می توان آهن قراضه نیز در کوره شارژ کرد؛ در این کوره نیز برای تصفیه و جذب ناخالصیها و تشکیل سرباره از آهک استفاده می شود. شکل ۴-۵ تهیه فولاد با روش قوس الکتریکی را نشان می دهد. چون کوره قوس الکتریکی

نسبتاً ارزان است و می تواند قراضه فولاد را دوباره ذوب کند، این فرایند در جایی که قراضه فولاد در دسترس است به کار می رود. با این فرایند کنترل دقیق دما نیز امکان پذیر است. از محصولات این کوره می توان فولادهای مقاوم در مقابل حرارت، خوردگی و همچنین فولادهای فنر با استحکام زیاد را نام برد. امروزه تقریباً تمام فولادهای ابزارسازی آلیاژی را با این روش تولید می کنند.



شکل ۵-۴- تهیه فولاد با روش قوس الکتریکی

نمودار ۴-۶- کلیه مراحل استخراج آهن از سنگ معدن، فولادسازی و مراحل ساخت قطعات فولادی را به صورت شماتیک نشان می دهد.



۲-۴- انواع فولادها

فولادها را می توان به طرق مختلفی دسته بندی نمود:

۱- طبقه بندی بر اساس ترکیب شیمیایی: فولادهای کربنی، فولادهای آلیاژی

۲- طبقه بندی بر اساس کیفیت: فولادهای تجاری، فولادهای تمیز^۱ و فولادهای فوق

تمیز

۳- طبقه بندی بر اساس کاربرد: فولادهای ساختمانی، فنر، ابزار، مقاوم در برابر سایش،

زنگ نزن، مغناطیسی، فولادهای مورد استفاده در دماهای زیرصفر، فولادهای سخت شونده

سطحی

۱-۲-۴- فولادهای ساده کربنی

فولادهای ساده کربنی را می توان با توجه به مقدار کربن به گروههای زیر دسته بندی

کرد:

فولادهای کم کربن با کربن کمتر از ۰/۲۵٪: مصرف اصلی این نوع فولادها در صنایع

الکتریکی و صنایع ماشین سازی نظیر ریل راه آهن، بدنه پاتیل ها و قاب بدنه موتورها

می باشد. این نوع فولادها نرم بوده و بدون عملیات حرارتی مورد مصرف قرار می گیرد. سطح

این نوع فولادها را می توان از طریق کربوره کردن سخت نمود.

فولادهای کربن متوسط با ۰/۲۵ تا ۰/۵۵٪ کربن: این نوع فولادها دارای مشخصه ریخته

گری بهتری نسبت به فولادهای کم کربن بوده، سیالیت بیشتر و تمایل کمتری به ایجاد

ترکهای گرم در قطعات ریختگی دارند. مصرف اصلی این نوع فولادها در صنعت ماشین

سازی، صنایع حمل و نقل، دستگاه های نورد، ماشین های راه سازی، قطعات خودرو و

قطعات ریختگی کوچک، متوسط و بزرگ است. در میان انواع فولادهای ساده کربنی این

نوع فولادها بیشترین مقدار مصرف را دارند.

فولادهای پرکربن با ۰/۵۵ تا ۱/۷٪ کربن: این فولادها نسبت به فولادهای کربن متوسط

کاربرد کمتری دارند، زیرا هزینه تولید آنها بیشتر و شکل پذیری و قابلیت جوشکاری آنها

۱- فولاد تمیز (clean steel) کمترین مقدار عناصر ناخواسته از قبیل O, S, Mn, Si, H, P, Sn, Sb, As را دارد.

ضعیف تر است.

مصرف عمده این نوع فولادها در تولید قطعاتی نظیر غلتک های نورد گرم، چرخ دنده ها، قالب های اکستروژن و قطعات مقاوم به سایش است.

فولادهای ساده کربنی بسته به نوع و کاربرد آن در چند سیستم مختلف دسته بندی می شوند. بنابراین یک دسته بندی واحد که در تمام فولادهای ساده کربنی به کار رود، وجود ندارد. دو سیستمی که بیشتر به کار می روند عبارتند از: سیستم AISI-SAE و ASTM.

سیستم دسته بندی AISI-SAE برای فولادهای ساده کربنی:

از آنجا که درصد کربن فولادهای ساده کربنی تعیین کننده استحکام آنهاست، درصد کربن در این سیستم برای شناسایی فولادهای مختلف به کار می رود. در این سیستم برای نامگذاری از چهار عدد استفاده می شود که دو عدد اول «۱۰» مشخص کننده فولاد ساده کربنی است. دو رقم بعدی مشخص کننده صدم درصد کربن است. به عنوان مثال، عدد ۱۰۴۰ مشخص کننده فولاد ساده کربنی با ۰/۴٪ کربن است. در مورد فولادهای آلیاژی دو عدد اول به عناصر موجود آلیاژی عمده، و دو یا سه عدد آخر به درصد کربن اشاره می کند. به عنوان مثال فولاد AISI ۴۳۴۰ یک فولاد آلیاژی است که حاوی ۰/۴۰٪ کربن است. این سیستم در مورد میل گردهای نورد سرد و گرم، سیم ها، میله ها و لوله های بدون درز و محصولات نیمه تمام برای آهنگری به کار می رود.

جدول ۱-۴ گزیده ای از فولادهای ساده کربنی را نشان می دهد.

سیستم ASTM

در سیستم ASTM برای نشان دادن خواص موردنظر، استانداردهایی برای آلیاژهای مختلف نوشته شده است. استاندارد ASTM علاوه بر ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی و غالباً روش ساخت و عملیات حرارتی را نیز در نظر می گیرد. به عنوان مثال فولادهای ورق بیشتر بر مبنای ASTM دسته بندی می شوند.

جدول ۴-۱ گزیده ای از فولادهای ساده کربنی

%Mn		%C		AISI-SAE
۰/۴۰	۰/۳۵	حد اکثر	۰/۰۸	۱۰۰۶
۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۰۸	۱۰۱۰
۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۱۳	۱۰۱۵
۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۱۸	۱۰۲۰
۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۲	۱۰۲۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۳۲	۰/۲۸	۱۰۳۰
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۳۸	۰/۳۲	۱۰۳۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۴۲	۰/۳۷	۱۰۴۰
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۴۳	۱۰۴۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۴۸	۱۰۵۰
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۱۰۵۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۱۰۶۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۶۵	۱۰۷۰
۰/۷۰	۰/۴۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۱۰۷۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۸۸	۰/۷۵	۱۰۸۰
۱/۰۰	۰/۷۰	۰/۹۳	۰/۸۰	۱۰۸۵
۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۹۸	۰/۸۵	۱۰۹۰
۰/۵۰	۰/۳۰	۱/۰۳	۰/۹۰	۱۰۹۵

۰/۰۴۰ P حد اکثر S ۰/۰۵۰ حد اکثر

فولادهای ساده کربنی علاوه بر کربن دارای عناصر ذیل می باشند:

منگنز تا ۱٪

گوگرد تا ۰/۰۵٪

فسفر تا ۰/۰۴٪

سیلیسیم تا ۰/۳٪

اثر هر یک از این عناصر به طور خلاصه به شرح زیر است:

منگنز: از ۰/۳۵ تا ۱٪ در فولاد ساده کربنی تغییر می کند. منگنز با گوگرد موجود در زمینه فولاد ترکیب می شود و سولفید منگنز (MnS) ایجاد می کند، که به صورت آخالهای خاکستری و نرم در فولاد وجود دارد. سولفید منگنز در داخل دانه ها پراکنده و در جهت کار شده کشیده شده است. در فولادها وجود سولفید منگنز بهتر از سولفید آهن (FeS) است

زیرا سولفید آهن ترکیبی ترد با نقطه ذوب پایین است که در مرز دانه ها تشکیل می شود. منگنز همچنین با ریز کردن ساختار زمینه و ایجاد محلول جامد استحکام فولادهای ساده کربنی را افزایش می دهد. منگنز در حین عملیات حرارتی فولاد، عمق سختی را افزایش می دهد، اما مقدار زیاد آن به هنگام آبدی تمایل به تشکیل ساختار ترد و شکست زود هنگام را افزایش می دهد.

گوگرد: در فولادهای ساده کربنی گوگرد حداکثر تا ۰/۰۵٪ وجود دارد. معمولاً با منگنز فولاد ترکیب می شود و ایجاد آخالهای سولفید منگنز می کند. اما اگر گوگرد با آهن ترکیب شود سولفید آهن تشکیل می دهد که معمولاً در مرزدانه ها رسوب می کند. به دلیل اینکه سولفید آهن سخت و نقطه ذوب آن پایین است، ممکن است در حین کار سرد و یا کار گرم فولاد ترک ایجاد کند. بنابراین برای پرهیز از ایجاد سولفید آهن، نسبت منگنز به گوگرد فولادها حدود ۵ به ۱ است.

فسفر: فسفر موجب کاهش مقاومت قطعات ریختگی در مقابل ضربه (به خصوص در درجه حرارت های پایین) می شود. حداکثر میزان فسفر در فولادهای ساده کربنی به ۰/۰۴٪ محدود می شود زیرا فسفر سبب ایجاد ترکیب بسیار ترد (Fe_3P) می شود که در فولاد رسوب می کند.

سیلیسیم: میزان سیلیسیم در فولادهای ساده کربنی از حدود ۰/۱ تا ۰/۳٪ تغییر می کند. سیلیسیم به عنوان اکسیژن زدا به کار می رود و آخالهای SiO_2 یا سیلیکاتی تشکیل می دهد. در غیر این صورت چون در زمینه حل می شود، اثر کمی بر خواص مکانیکی فولادهای ساده کربنی دارد.

۲-۲-۴- فولادهای آلیاژی

اگر چه فولادهای ساده کربنی را می توان در محدوده ی وسیعی از استحکام و با هزینه نسبتاً کم تولید کرد، اما خواص این فولادها همیشه جوابگوی تمام کاربردهای مهندسی نیست. به طور کلی فولادهای کربنی محدودیت های زیر را دارند:

۰۱. استحکام این فولادها را بدون کاهش چشمگیر در چقرمگی و شکل پذیری نمی توان تا حد زیادی افزایش داد.

۰۲. این فولادها قابلیت سخت شدن عمقی ندارند و مقاطع ضخیم را نمی توان با عملیات حرارتی سخت کرد.

۰۳. برای ایجاد ساختار سخت در فولادهای ساده کربنی و کربن متوسط، سرعت سرد کردن زیاد از دمای بالا، لازم است. این سریع سرد کردن منجر به اعوجاج و ترک خوردن فولاد عملیات حرارتی شده می شود.

۰۴. مقاومت به ضربه فولادهای ساده کربنی در دماهای پایین کم است.

۰۵. در بیشتر محیطهای صنعتی مقاومت به خوردگی فولادهای ساده کربنی، ضعیف است.

۰۶. فولادهای ساده کربنی در دماهای بالا به آسانی اکسید می شوند.
فولادهای آلیاژی شامل سه گروه است که بر اساس مجموع عناصر آلیاژی غیر از کربن، تقسیم بندی می گردند:

فولادهای کم آلیاژی با عناصر آلیاژی کمتر از ۵٪

فولادهای با آلیاژ متوسط با عناصر آلیاژی ۵ تا ۱۰٪

فولادهای پرآلیاژ با عناصر آلیاژی بیش از ۱۰ درصد

با در نظر گرفتن دلایل فوق، تولید فولادهای آلیاژی توسعه یافت. این فولادها اگر چه از نظر قیمت نسبت به فولادهای ساده کربنی گران ترند ولی در بیشتر موارد کاربرد آنها اقتصادی تر است. در بعضی موارد کاربردی، فولادهای آلیاژی تنها موادی هستند که جوابگوی تمام خواسته های مهندسی می باشند. عناصر آلیاژی که در تولید فولادهای آلیاژی به کار می روند، عبارت اند از نیکل، کرم، مولیبدن، منگنز، سیلیسیم و وانادیم. برخی عناصر دیگر از جمله کبالت، مس و سرب گاهی افزوده می شوند.

در این فصل اساساً آن گروه از آلیاژهای مهندسی که کاربرد ساختمانی و ماشین سازی دارند بررسی می شوند.

طبقه بندی فولادهای آلیاژی: به طور کلی، فولاد آلیاژی می تواند تا حدود ۵۰٪ عناصر آلیاژی داشته باشد. فولادهای آلیاژی معمولاً با سیستم های AISI-SAE مشخص می شوند. در این سیستم برای مشخص کردن هر فولاد آلیاژی از یک عدد چهار رقمی استفاده می شود. دو رقم اول مشخص کننده عنصر آلیاژی اصلی یا گروه عناصر آلیاژی است، شبیه به آنچه که در جدول ۲-۴ آمده است. دو رقم آخر مشخص کننده تقریبی درصد اسمی کربن در آلیاژ است. جدول ۳-۴ ترکیب اسمی بعضی از فولادهای آلیاژی استاندارد را نشان می دهد.

اثر عناصر آلیاژی بر فولادها

عناصر آلیاژی برای مقاصد زیادی به فولادهای ساده کربنی اضافه می شوند. بعضی از مهم ترین آنها عبارتند از:

۱. بهبود خواص مکانیکی با افزایش عمقی که فولاد می تواند سخت شود.
 ۲. حفظ استحکام در دمای کاری بالا.
 ۳. بهبود خواص مکانیکی در دماهای زیاد و کم.
 ۴. بهبود مقاومت به خوردگی و اکسایش در دمای زیاد.
 ۵. بهبود خواص ویژه، از قبیل مقاومت به سایش و خواص خستگی.
- موارد ۱ و ۲ اهمیت زیادی دارند. مثلاً با افزایش عمق سختی فولادهای ساده کربنی در ضخامت های بیشتری می توان ساختار سخت ایجاد کرد، و بنابراین از مزیت استحکام و چقرمگی ساختار سخت شده می توان بهره مند شد. همچنین با افزایش عمق سختی فولاد، سرعت سرد کردن در عملیات حرارتی، کاهش می یابد. سرد کردن در هوا یا روغن شیب حرارتی را، که می تواند منجر به اعوجاج و ترک خوردن فولاد شود، کاهش می دهد.
- به طور کلی هر چه مقدار کربن فولاد کمتر باشد آن فولاد چقرمه تر است، لذا فولادهای آلیاژی با کربن کمتر، چقرمگی بیشتری دارند.

جدول ۲-۴- طبقه بندی فولادهای آلیاژی

منگنز ۱/۷۵	۱۳xx
مولیبدن ۰/۲ یا ۰/۲۵ : یا مولیبدن ۰/۲۵ و گوگرد ۰/۰۲۲	۴۰xx
کرم ۰/۵ یا ۰/۸۰ ، ۰/۹۵ ، مولیبدن ۰/۱۲ ، ۰/۲ یا ۰/۳	۴۱xx
نیکل ۱/۸۳ ، کرم ۰/۵ یا ۰/۸ ، مولیبدن ۰/۲۵	۴۳xx
مولیبدن ۰/۵۳	۴۴xx
نیکل ۰/۸۵ یا ۱/۸۳ ، مولیبدن ۰/۲ یا ۰/۲۵	۴۶xx
نیکل ۱/۰۵ ، کرم ۰/۴۵ ، مولیبدن ۰/۲ یا ۰/۳۵	۴۷xx
نیکل ۳/۵ ، مولیبدن ۰/۲۵	۴۸xx
کرم ۰/۴	۵۰xx
کرم ۰/۸ ، ۰/۸۸ ، ۰/۹۳ ، ۰/۹۵ یا ۱/۰۰	۵۱xx
کرم ۱/۰۳	۵۱xxx
کرم ۱/۴۵	۵۲xxx
کرم ۰/۶ یا ۰/۹۵ ، وانادیم ۰/۱۳ یا حداقل ۰/۱۵	۶۱xx
نیکل ۰/۵۵ ، کرم ۰/۵ ، مولیبدن ۰/۲	۸۶xx
نیکل ۰/۵۵ ، کرم ۰/۵ ، مولیبدن ۰/۲۵	۸۷xx
نیکل ۰/۵۵ ، کرم ۰/۵ ، مولیبدن ۰/۳۵	۸۸xx
سیلیسیم ۲/۰ ، یا سیلیسیم ۱/۴ و کرم ۰/۷	۹۲xx
کرم ۰/۲۸ یا ۰/۵	۵۰Bxx
کرم ۰/۸	۵۱Bxx
نیکل ۰/۳ ، کرم ۰/۴۵ ، مولیبدن ۰/۱۲	۸۱Bxx
نیکل ۰/۴۵ ، کرم ۰/۱۲	۹۴Bxx

یادداشت: B نشان دهنده فولادی است که برم دارد.

جدول ۳-۴- ترکیب اسمی بعضی از فولادهای آلیاژی استاندارد

شماره AISI-SAE	%C	%Cr/%Mn	%Mo	%Ni	%Si*	کاربردهای خاص
فولادهای منگنزدار						
۱۳۳۰	۰/۳	۱/۷۵				بیج مهره یا استحکام زیاد
۱۳۴۰	۰/۴	۱/۷۵				
فولادهای کرم‌دار						
۵۱۲۰	۰/۲	۰/۸	۰/۸			فولادهای گرینی شونده
۵۱۳۰	۰/۳	۰/۸	۰/۹۵			قسمتهای دنده فرمان
۵۱۴۰	۰/۴	۰/۸	۰/۸			فولادهای فنر
۵۱۶۰	۰/۶	۰/۸۸	۰/۸			گلوله و پانافان
E: ۵۲۱۰۰	۱/۰۴	۰/۳۵	۱/۴۵			
فولادهای مولیبدن‌دار						
۲۰۲۳	۰/۲۳	۰/۸	۰/۲۵			فولادهای گرینی شونده
۲۰۳۷	۰/۳۷	۰/۸	۰/۲۵			
۲۰۴۷	۰/۴۷	۰/۸	۰/۲۵			
فولادهای کرم - مولیبدن‌دار						
۲۱۱۸	۰/۱۸	۰/۸	۰/۵	۰/۱۳		دیگهای بخار - قسمتهای ساختاری
۲۱۳۰	۰/۳	۰/۵	۰/۹۵	۰/۲		هوابیما - محوره‌های خودرو -
۲۱۴۰	۰/۴	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۲		دنده فرمان
فولادهای کرم - وانادیم‌دار						
۶۱۵۰	۰/۵	۰/۸	۰/۹۵			V ۱۵٪ سوپاپ و فنر
فولادهای نیکل - مولیبدن‌دار						
۲۶۲۰	۰/۲	۰/۵۵	۰/۲۵	۱/۸۳		دنده‌های انتقال دهنده، زنجیر -
۲۸۲۰	۰/۲	۰/۶	۰/۲۵	۳/۵		شافت - پانافان چرخنده
فولادهای نیکل (۱/۸۳٪) - کرم - مولیبدن‌دار						
۲۳۲۰	۰/۲	۰/۵۵	۰/۵	۰/۲۵	۱/۸۳	فولادهای گرینی شونده
۲۳۴۰ (E)	۰/۴	۰/۷	۰/۸	۰/۲۵	۱/۸۳	قسمتهای سنگین، چرخ هوابیما، قطعات تحت کشش
فولادهای نیکل (۰/۵۵٪) - کرم - مولیبدن‌دار						
۸۶۲۰	۰/۲	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۰/۵۵	فولادهای گرینی شونده
۸۶۴۰	۰/۴	۰/۸۸	۰/۵	۰/۲	۰/۵۵	فنرهای ماشین - محوره‌های
۸۶۴۰	۰/۴	۰/۸۸	۰/۵	۰/۲	۰/۵۵	ماشین کوچک - شافت
۸۶۶۰	۰/۶	۰/۸۸	۰/۵	۰/۲	۰/۵۵	
فولادهای سیلیسیم‌دار						
۹۲۶۰	۰/۶	۰/۸۸			۲/۰	فنرهای پهن

* تمام فولادها بجز فولاد ۹۲۶۰ حداقل ۰/۲۸٪ Si دارند: تمام فولادها حداکثر ۰/۳۵٪ و حداکثر ۰/۲۰٪ دارند بجز فولادهای کوره الکتریکی (E) که حداکثر ۰/۲۵٪ و حداکثر ۰/۲۵٪ دارند.

فولادهای منگنزدار: برای احیای فولاد و ترکیب با گوگرد به منظور تشکیل سولفیدمنگنز کروی در حدود ۰/۲۵ تا ۱ درصد منگنز به تمام فولادهای تجاری افزوده می شود. منگنز هنگامی تاثیر بیشتری دارد که افزایش استحکام در مقابل افزایش قیمت مدنظر قرار گیرد. این نوع فولادها به سه نوع زیر تقسیم بندی می شوند. کم آلیاژی (تا ۲ درصد منگنز)، میان آلیاژی (۲/۵ تا ۴ درصد منگنز) و پرآلیاژی (تا ۲۰ درصد منگنز). فولادهای کم آلیاژی منگیزی دارای خواص و مشخصه ریخته گری مشابهی با فولاد ساده کربنی بوده اما خواص مکانیکی بهتری را دارا می باشند. کاربرد اصلی این نوع فولاد در شرایطی است که قطعه تحت نیروهای تکرار شونده قرار می گیرند. مانند ابزارهای نیوماتیکی^۱، اجزاء ریلها، قاب واگنها، تویی چرخ خودروهای سنگین، ناخن تراکتورها، چرخ دنده گیربکس.

فولاد میان آلیاژی منگیزی دارای استحکام بالا و مقاومت خوب در مقابل سایش است، اما قابلیت انعطاف پذیری و چکش خواری آن پایین است. این فولاد برای ساخت چرخ دنده ها، میل بادامک ها و دیگر قطعات تحت سایش مناسب است.

فولادهای پرآلیاژی منگیزی که در ایران به اختصار فولادهای منگیزی نامیده می شوند محتوی حدود ۱۳ درصد منگنز است. نام دیگر این فولاد "هادفیلد" یعنی نام ابداع کننده آن است. این نوع فولاد به علت دارا بودن مقاومت خوب در مقابل سایش توأم با ضربه موارد مصرف زیادی را به خود اختصاص داده است. مصرف این نوع فولاد در تولید قطعات سایشی نظیر زره آسیابها، فک سنگ شکن ها، ناخنک ماشینهای خاک برداری و قطعات مشابه است. اکثر واحدهای فولادریزی در ایران این نوع فولاد را تولید می نمایند. افزایش مقدار منگنز در این نوع فولاد باعث افزایش سیالیت مذاب شده اما انقباض حاصل از انجماد، تمایل به ایجاد ترکهای حرارتی و آخال اکسیدی در سطوح قطعات ریختگی را افزایش می دهد.

فولادهای کرم دار: کرم برای بهبود سختی پذیری، استحکام و مقاوت سایشی به فولاد افزوده می شود. این نوع فولادها به انواع کم آلیاژی (۱ تا ۲ درصد کرم)، میان آلیاژی (۳ تا ۵ درصد کرم) و پرآلیاژی (۳۰ درصد کرم) تقسیم می شوند.

فولادهای کرم دار کم آلیاژی مقاومت به سایش خوبی داشته و دارای استحکام بالا اما

۱- pneumatic

قابلیت انعطاف پذیری و چکش خواری کمی هستند. با افزودن مقادیر کمی مولیبدن، وانادیم و تنگستن می توان استحکام آنها را بالا برد. انواع میان آلیاژی دارای استحکام بیشتر در درجه حرارت های بالا بوده و در برابر بعضی از مواد شیمیایی خورنده دارای مقاومت بهتری می باشند. فولادهایی که دارای کرم بالایی هستند دارای استحکام بالا در درجه حرارت های تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد می باشند.

فولادهای کرم دار دارای سیالیت کم و تمایل به ایجاد ترک های حرارتی و حفره های انقباضی بالا می باشند. در هنگام ریخته گری این نوع فولادها بایستی درجه حرارت مذاب را قبل از بار ریزی کاملاً بالا برده و همچنین سرعت ریختن مذاب را حدود دو برابر موارد مشابه مربوط به فولادهای کربنی در نظر گرفت، تا از پر شدن محفظه قالب اطمینان حاصل گردد.

این فولادها برای قطعات مقاوم به سایش و استحکام بالا مانند فنر، یاتاقان، گلوله و غلتک به کار می رود.

فولادهای مولیبدن دار: جهت بهبود استحکام و سختی پذیری فولادهای ساده کربنی، مقدار ۰/۲۵٪ مولیبدن به آنها اضافه می شود. فولادهای آلیاژی کم کربن سری ۴۰XX (طبق جدول ۲-۴) در صنایع خودروسازی و قطعاتی مانند چرخ دنده های محور عقب، دنده ها، پین ها و قطعات انتقال نیرو به کار می رود.

فولادهای کرم، نیکل: این نوع فولادها دارای استحکام بالا، قابلیت انعطاف پذیری و چکش خواری خوب و مقاومت در مقابل خوردگی می باشند. همچنین استحکام بالایی در درجه حرارت های بالا دارند. فولادهای کم آلیاژی از این خانواده دارای ۱ تا ۲ درصد کرم، ۱/۵ تا ۳ درصد نیکل، ۰/۲ تا ۰/۵ درصد کربن (و در مواردی ۰/۳ تا ۰/۵ درصد مولیبدن) می باشند. این نوع فولادها دارای مشخصات ریخته گری و مکانیکی عالی بوده و در میان فولادهای کم آلیاژی موارد مصرف بسیاری دارند. بسیاری از قطعات صنعتی که نیاز به استحکام بالا، مقاومت در مقابل ضربه و خستگی خوب دارند مانند چرخ دنده ها و محورها

از این نوع فولادها تهیه می شوند.

فولادهای کرم- نیکل دار، مقاوم در مقابل خوردگی، در درجه حرارتهای بالا نیز در مقابل اکسیداسیون مقاوم بوده و استحکام خود را حفظ می نمایند. قطعات مربوط به توربین های گازی و قطعات مصرفی در کوره های تولید سیمان از جنس فولادهای کرم- نیکل دار می باشند. در صورتی که قطعات در شرایط حساستری مورد استفاده قرار گیرند (درجه حرارتهای بالا، نیروهای اعمالی بالاتر و وجود عوامل خورنده شیمیایی) از انواع دیگر فولادهای کرم- نیکل دار با درصد کرم و نیکل بالاتر (بین ۱۵ تا ۳۵ درصد) استفاده می گردد.

فولادهای کرم- نیکل دار در مقایسه با فولادهای کربنی دارای سیالیت کمتری هستند. برای اطمینان از پر شدن کامل محفظه قالب بایستی ریخته گری این نوع فولادها در درجه حرارت بالا و با سرعت ریختن بیشتری نسبت به فولادهای کربنی انجام گیرد. از آنجایی که این نوع فولاد (در هنگام انجماد) دارای دانه های درشتی است امکان ایجاد ترک های حرارتی گرم در قطعات وجود دارد. برای جلوگیری از این مشکل بایستی از عناصر جوانه زا (در مذاب) استفاده شود تا قطعات با دانه های ریزی به دست آید. از طرف دیگر استفاده از درجه حرارت مناسب ریختن مذاب و به کارگیری راهگاه های فرعی (راهبارها) متعدد در ریخته گری قطعات ضروری است تا از تمرکز حرارت در نقاط خاصی از قطعه جلوگیری شود.

فولادهای سیلیسیم دار: فولاد پر سیلیسیم در مقابل عوامل خورنده و سایشی مقاوم می باشند. انواع کم آلیاژی آن دارای ۲ درصد سیلیسیم بوده و خانواده پرآلیاژی آنها تا ۲۰ درصد سیلیسیم دارند. فولادهایی که درصد سیلیسیم بالایی دارند، سخت و شکننده می باشند. انواع کم آلیاژی آن تمایل شدیدی به ایجاد ترک های حرارتی در قطعات ریختگی دارند. لذا برای جلوگیری از این مشکل بایستی قالبها و ماهیچه های مصرفی دارای قابلیت متلاشی شدن (پس از جامد شدن مذاب) بالا باشند همچنین قطعات باید در قالب به آهستگی و به طور یکنواخت سرد گردد. انواع دیگر فولادهای مس دار، تنگستن دار نیز در صنایع دارای موارد مصرف ویژه ای می باشند.

فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا در سال ۱۹۶۰ برای دستیابی به استحکام بالاتر، مقاومت شکست بیشتر، چکش خواری بهتر و جوش پذیری راحت تر نسبت به فولادهای ساده کربنی، بدون افزودن مقادیر زیاد عناصر آلیاژی گران قیمت و یا عملیات حرارتی گسترش یافت. ترکیب نوعی فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا به این ترتیب است: ۱/۳۵٪ منیزیم، ۰/۴۵٪ سیلیسیم، ۰/۱۲٪ کربن، ۰/۱۲٪ وانادیم، ۰/۰۴٪ فسفر و ۰/۰۲٪ نیوبیم. فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا در خطوط نفت و گاز، استخراج نفت در دریا، شاسی و بدنه خودرو، ریل راه آهن، بدنه قطارها و کشتی ها استفاده می شود.

- ۱- روشهای تولید فولاد از آهن خام را نام ببرید.
- ۲- روش توماس-بسمر را توضیح دهید.
- ۳- تفاوت کنورتور توماس با کنورتور بسمر چیست.
- ۴- فولادهای آلیاژی را با کدام روش تولید می کنند.
- ۵- مزایای استفاده از دمش اکسیژن به جای هوا در فولاد سازی چیست؟
- ۶- تأثیر کربن در فولاد را بنویسید.
- ۷- تأثیر منگنز در فولاد را بنویسید.
- ۸- تأثیر گوگرد و فسفر در فولاد را بنویسید.
- ۹- کاربردهای فولاد کربن متوسط را بنویسید.
- ۱۰- برای کاربردهای مهندسی مهم ترین محدودیت های فولادهای ساده کربنی چیست؟
- ۱۱- فولادهای آلیاژی بر اساس استاندارد AISI چگونه طبقه بندی می شوند؟
- ۱۲- پنج دلیل برای افزایش عناصر آلیاژی به فولاد ساده کربنی و ایجاد فولادهای آلیاژی ذکر کنید.

آلومینیم و آلیاژهای آن

هدف های رفتاری: در پایان فصل از هنرجو انتظار می رود که:

- ۱- خواص آلومینیم را توضیح دهد.
- ۲- استخراج آلومینیم از سنگ معدن را شرح دهد.
- ۳- خواص آلیاژهای آلومینیم ، توضیح دهد.
- ۴- استانداردهای طبقه بندی آلیاژهای آلومینیم را شرح دهد.

مقدمه

تقریباً ۷/۵ درصد کل پوسته زمین از آلومینیم تشکیل شده است که پس از اکسیژن (۴۹/۲ درصد) و سیلیسیم (۲۵/۸درصد) فراوانترین عنصر است در حالیکه آهن با مصرف زیاد آن در صنایع فقط ۴/۳ درصد پوسته زمین را تشکیل می دهد. آلومینیم با وجود فراوانی هیچ وقت به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی شود بلکه بیشتر به صورت ترکیب با سایر عناصر و بخصوص اکسیژن وجود دارد. در واقع تا اواسط قرن هجدهم شیمیدان ها حتی به وجود آن نیز پی نبرده بودند. البته برای صدها سال یکی از ترکیبات آن بصورت سولفات آلومینیم و به اسم آلوم بعنوان عامل گرفتن رنگ استفاده می شد. در سال ۱۷۴۶ یک شیمیدان آلمانی به نام مارگارف موفق به تهیه اکسید آلومینیم از آلوم شد که وجود این عنصر را ثابت نمود. اولین قدم برای تولید آلومینیم فلزی از اکسید آن در سال ۱۷۶۰ برداشته شد و پس از آن توسط شیمیدانهای مختلف از جمله لاوزیه دنبال گردید. در حدود سال ۱۸۰۰ میلادی دانشمند انگلیسی سر مورفی دیوی از مخلوطی از خاکستر (Pot-ash)، اکسید آلومینیم (آلومینا) که هنوز شناخته شده نبود و سیم آهنی دریک بوته پلاتینی جریانی الکتریکی عبور داد. نتیجه آن تولید ترکیبی از آهن و یک فلز جدید بود. دیوی این فلز را آلومینیم نامید. اولین قطعات آلومینیم خالص فلزی توسط شیمیدان

دانمارکی به نام ارستد تولید شد. همکار او توانست بقدر کافی آلومینیم خالص تولید کند تا سبکی وزن و قابلیت چکش کاری آن را به نمایش بگذارد.

در سال ۱۸۵۲ قیمت آلومینیم تولیدی در آزمایشگاه در حدود هر کیلو ۱۲۰۰ دلار بود که با قیمت طلا قابل مقایسه بود. به پیشنهاد ناپلئون شیمیدانهای فرانسوی به تحقیق در مورد تولید عملی آلومینیم پرداختند تا از آن برای تجهیزات جنگی استفاده نمایند.

دویل یکی از شیمیدانهای بود که به این کار پرداخت و دریافت که می توان با استفاده از بوته پلاتینی مقدار زیادی آلومینیم تولید نمود. بطوریکه مخلوط آلومینا-آهن را مستقیماً داخل کوره قرار داد و توانست قیمت یک کیلو آلومینیم را به حدود ۳۷/۵ دلار برساند. دویل در خلال تحقیقات خود اولین روش غیر شیمیایی تولید آلومینیم را به دست آورد. این روش از احیای کلرور آلومینیم در یک حمام مذاب آلومینیم تشکیل می شد که با عبور جریان برق از این مذاب، آلومینیم فلزی آزاد می شد. این روش نیاز به تبدیل گران قیمت آلومینا به کلرور آلومینیم قبل از عمل الکترولیز داشت. در سال ۱۸۸۶ در یک رشته عملیات تحقیقاتی دو دانشمند جوان به نامهای هال و هرولت بطور همزمان ولی مستقل توانستند این مرحله گران قیمت تبدیل را حذف کنند. هر دو در یک زمان دریافتند که به جای کلرور آلومینیم می توان خود آلومینا را در کریولیت مذاب که یک کانی فلوئور سدیم- آلومینیم است حل نمود. هنگامی که یک جریان مستقیم از مخلوط مذاب آلومینا- کریولیت در یک بوته کربنی عبور داده شود، آلومینا به آلومینیم فلزی و اکسیژن تجزیه می گردد. آلومینیم در ته بوته رسوب کرده در حالیکه اکسیژن با کربن ترکیب شده و تشکیل مونواکسید کربن و دی اکسید کربن می دهد.

مهمترین عمل تکمیلی بر روی فرآیند هال-هرولت در حدود دو سال بعد از معرفی آن انجام شد. شیمیدان آلمانی به نام بایر روش جدیدی برای تهیه آلومینا از سنگ معدن بوکسیت کم سیلیس بوجود آورد که در سال ۱۸۸۸ به اسم او ثبت گردید و با این فرآیند، صنعت آلومینیم پایه ریزی شد.

با توجه به مطالب فوق می توان گفت که آلومینیم و آلیاژهای آن دارای قدمت نسبتاً

کوتاهی بعنوان یک ماده صنعتی می باشند. با این حال به علت انواع خواص مورد نیاز صنعت مدرن که در آلومینیم یافت می شود مصرف و تولید آن هر سال در حال افزایش است و در آینده کاربردهای وسیع و پیشرفته ای برای آن پیش بینی می گردد. تا قبل از جنگ جهانی دوم آلومینیم بیشتر به عنوان وسایل و ظروف آشپزخانه معرفی شده و مصرف آن در کابلهای انتقال الکتریسیته با ولتاژ زیاد نیز توسعه یافته بود ولی در خلال جنگ نیاز به طرح های جدید هواپیما و آلیاژهای استحکام بالا، توسعه و مصارف جدید آلومینیم را سرعت بخشید. پس از جنگ نیز مصارف شهری-صنعتی آلومینیم گسترش یافت و این فلز به عنوان یک ماده اولیه مهم صنعتی محسوب شده و در بازار جهان، مانند فولاد یکی از مهمترین و پر مصرف ترین مواد مورد استفاده می باشد.

۱-۵- خواص و کاربردهای آلومینیم

نقطه ذوب آلومینیم ۶۶۰ و نقطه جوش آن ۲۰۵۷ درجه سانتیگراد است. نقطه ذوب پایین آلومینیم نسبت به مس (۱۰۸۳ درجه سانتیگراد) و آهن (۱۵۳۹ درجه سانتیگراد) و مقایسه وزن مخصوص و سایر خواص فیزیکی و مکانیکی این سه فلز و آلیاژهای آنها یکی از دلایل عمده گسترش روزافزون و کاربردهای آلومینیم در صنعت می باشد، زیرا برای ریخته گری و ذوب این فلز تقریباً امکان استفاده از تمام کوره های صنعتی ذوب معمولی و با قدرت حرارتی کم میسر است.

آلومینیم بعد از منیزیم سبک ترین فلز صنعتی است. چگالی (جرم حجمی) آن برابر ۲/۷ گرم بر سانتی مترمکعب است. سبکی آلومینیم یکی دیگر از عوامل مهم در کاربردهای صنعتی آن می باشد. چنانچه چگالی آلومینیم با مس (۸/۹) و آهن (۷/۸) مقایسه شود، نتیجه می گردد که برای ساخت قطعاتی با شکل مشابه از آلومینیم نسبت به مس ۳۰ درصد و نسبت به آهن ۲۴ درصد کاهش وزن وجود دارد.

آلومینیم یکی از فلزات با هدایت خوب است و هدایت حرارتی آن تقریباً ۵۵/۷ درصد

مس و مقاومت الکتریکی آن برابر ۲/۶۵۵ میکرواوم بر سانتی متر مربع است (۱/۵۸ برابر ضعیف تر از مس) که در مقایسه با مس به نسبت چگالی، هدایت حجمی آلومینیم از مس بیشتر است.

آلومینیم فلزی نرم است که درصد ازدیاد طول نسبی^۱ کششی آن نسبتا بالا ولی سختی آن تقریبا کم است. قابلیت آلیاژسازی و استفاده از آلیاژهای مختلف آلومینیم با عناصری مانند سیلیسیم، منیزیم و مس باعث شده در حالیکه خواص فیزیکی آلومینیم نظیر وزن مخصوص افزایش قابل توجهی نداشته (حتی نقطه ذوب آن کاهش یابد) آلیاژهای مقاومی حاصل گردد که سختی آن به مقادیر بالاتری برسد و از استحکام کششی و خواص مکانیکی بسیار بالایی برخوردار باشد.

یکی دیگر از مشخصات عمده آلومینیم که در گسترش زمینه های کاربرد این عنصر و آلیاژهای آن در صنعت نقش مهم و اساسی دارد، مقاومت این فلز در مقابل اکسیژن هوا و سایر عوامل خورنده شیمیایی نظیر آب دریا، برخی از مواد روغنی و... است. آلومینیم به سرعت اکسیده می شود، ولی اکسید حاصل تشکیل یک لایه فشرده و غیرمتخلخل را می دهد که از نفوذ اکسیژن به قسمت های درونی قطعه جلوگیری کرده و خود حفاظت فلز را در مقابل اکسیژن بر عهده می گیرد.

آلومینیم صنعتی نه بصورت یک عنصر شیمیایی بلکه بصورت یک ماده در دسته های مختلف قرار می گیرد که از آلومینیم خالص تجارتي با درجه خلوص حدود ۹۹ درصد تا آلومینیم ویژه خالص^۲ با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد تغییر می کند و بدیهی است که هر یک کاربرد صنعتی خاص خود را دارد.

مهمترین زمینه های کاربرد آلومینیم در صنایع و عبارتند از:

۱- مصارف خانگی: نظیر کتری، قاشق، چنگال، قابلمه و قسمتهایی از یخچال...

توسعه و گسترش آلومینیم در ساخت وسایل خانگی فوق بر دلایل متعددی استوار است که مهمترین آنها مقاومت آلومینیم در مقابل اکسیژن (هوا)، سبکی و هدایت حرارتی

۱- نسبت ازدیاد طول به طول اولیه در صورتی که فلز تحت نیروی کششی قرار گیرد.

۲- Super purity

می باشد.

۲- مصارف ساختمانی: نظیر در، پنجره، دستگیره در و... بصورت ریختگی و نوردی (کارشده) توسعه و گسترش آلومینیم در مصارف ساختمانی علاوه بر سبکی و زنگ نزدن بر استحکام نسبی و همچنین قابلیت آبکاری الکتریکی آنها استوار است. قطعات فوق می تواند علاوه بر مقاومت درمقابل عوامل جوی و مکانیکی و تحمل نیروهای فشاری در رنگ های متنوع و ثابت نیز عرضه شود.

۳- مصارف شهرسازی: نظیر لوله، اتصالات، پمپ های آب و...
مهمترین دلیل موارد مصرف آلومینیم در این زمینه ها علاوه بر مشخصات فوق، مقاومت آنها در مقابل آب و رطوبت استوار است.

۴- مصارف هواپیمایی: در صنایع هواپیمایی، وزن و سبکی قطعات در کنار استحکام آنها از اهمیت ویژه برخوردار است و همین امر باعث توسعه کاربرد آلومینیم در صنایع گردیده است. از طرف دیگر قابلیت شکل پذیری آلومینیم و آلیاژهای آن از طریق روش های مختلف نظیر ریخته گری، نورد، فشارکاری و پتک کاری (آهنگری) باعث گردیده است که هر قطعه با مشخصات مکانیکی خواسته شده را بتوان از یکی از انواع آلیاژهای آلومینیم تهیه کرد.

۵- مصارف اتومبیل سازی و قطار: بنا به دلایل عمده فوق، از آلومینیم بصورت قطعات مختلف و به ویژه در ساخت پیستون، اگزوز دستگیره کاربوراتور و غیره استفاده می شود.

۶- مصارف کشتی سازی و زیر دریایی: علاوه بر سبک بودن و مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیم در مقابل نمک های دریا و آب دریا یکی از مهمترین عوامل مؤثر در کاربرد آلومینیم در قسمت های مختلف زیر بدنه، پروانه، پمپ و سایر قطعات کمکی در کشتی ها است.

۷- مصارف تجاری و بسته بندی: نظیر بسته بندی های چای، سیگار، مواد لبنی، پاکت شیر، در بطری و... .

آلومینیم بعنوان لفاف و پوشش در بسته بندی انواع محصولات تجاری به منظور جلوگیری از جذب رطوبت و با توجه به سبکی آن بکار می رود، این پدیده به دلیل آن است که آلومینیم از طریق عملیات نورد به ضخامتی تا حدود ۱۰ میکرون و کمتر از آن می رسد که از آنها ”زورق“ تهیه می کنند.

۸- مصارف الکتریکی: نظیر کابل ها، اتصالات. هدایت الکتریکی مطلوب آلومینیم و خواص هدایت الکتریکی حجمی بهتر از تمام عناصر و فلزات و بخصوص در مقایسه با مس، دلیل اصلی استفاده از آلومینیم در مصارف الکتریکی است.

۲-۵- استخراج آلومینیم

بوکسیت^۱ معروف ترین و متداولترین اکسید معدنی است که برای تولید آلومینیم به کار می رود. از نظر تاریخی این نام از دهکده بوکس^۲ در جنوب فرانسه انتخاب شده است که در آنجا سنگ معدنی با ترکیب ۵۲٪ آلومین^۳ (Al_2O_3)، ۲۷/۵٪ اکسید آهن (Fe_2O_3) و ۲۰/۵٪ آب (H_2O) یافت شده است. از آن تاریخ کلیه سنگ های معدنی آلومینیم که حاوی ترکیبات آلومین و اکسید آهن هستند، بوکسیت نامیده شدند هرچند که نسبت ترکیب آنها با مقدار فوق تفاوت داشته باشد.

ترکیب عمومی سنگ های بوکسیت که به منظور استخراج و تهیه آلومینیم به کار می روند بصورت جدول ۱-۵ می باشد. این ترکیب بطور کلی در تمام جهان یافت می شود ولی نحوه استخراج آنها از نظر مقدار آب موجود متفاوت است.

جدول ۱-۵: ترکیب عمومی سنگهای بوکسیت

Al_2O_3	۴۰ تا ۶۰ درصد
Fe_2O_3	۵ تا ۳۰ درصد
SiO_2	۱ تا ۸ درصد
TiO_2	۲ تا ۴ درصد
H_2O	۱۲ تا ۳۰ درصد

۱- Bauxite

۲- Baux

۳- Alumina

مهمترین منابع بوکسیت در فرانسه، آفریقای غربی، جامائیکا، استرالیا، مجارستان، یوگسلاوی و یونان قرار دارد. با وجود بررسی هایی که درباره تعداد زیادی از معادن بوکسیت ایران انجام گرفته است متأسفانه هنوز استفاده از مواد این معادن جهت به کارگیری در صنعت آلومینیم ایران آغاز نگردیده و کماکان آلومینای مصرفی کارخانه ایرالکو از خارج از کشور وارد می شود. آغاز مطالعات در رابطه با معادن بوکسیت در ایران به سال ۱۳۳۷ باز می گردد. اولین مطالعه درباره معادن بوکسیت منطقه بلبلو کرمان بود که ذخیره ای در حدود ۷ میلیون تن بوکسیت با عیار ۴۵ درصد برآورد شده بود. سالهای بعد مطالعات در این منطقه و مناطق دیگر پیگیری شد و مناطق مختلف کشور از لحاظ میزان آلومین مشخص شد.

۱-۲-۵- فرایند بایر برای تولید اکسید آلومینیم خالص

برای تهیه آلومینیم از سنگ های معدنی، اولین مرحله عملیات پس از استخراج کانی آلومینیم تهیه آلومین خالص است.

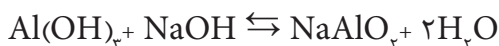
فرایند بایر که در سال ۱۸۸۸ در آلمان توسط ژوزف کارل بایر بنا نهاده شده بود متداولترین روش تولید آلومینیم محسوب می گردد.

در این فرایند پس از خرد کردن، آسیا کردن و نرم کردن سنگ، آنرا در محلول غلیظ سود سوزآور (NaOH) در درجه حرارت حدود ۲۴۰ درجه سانتیگراد حل می کنند.

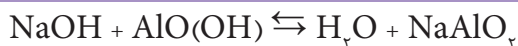
محلول سود، قسمت اعظم آلومین را در خود حل کرده و پسماندهای غیر محلول مشتمل بر اکسید آهن، سیلیس و قسمتی از آلومین نامحلول را پس از سرد کردن محلول از طریق فیلتر حذف می کنند.

واکنش هایی که در عمل انجام می گیرند عبارتند از:

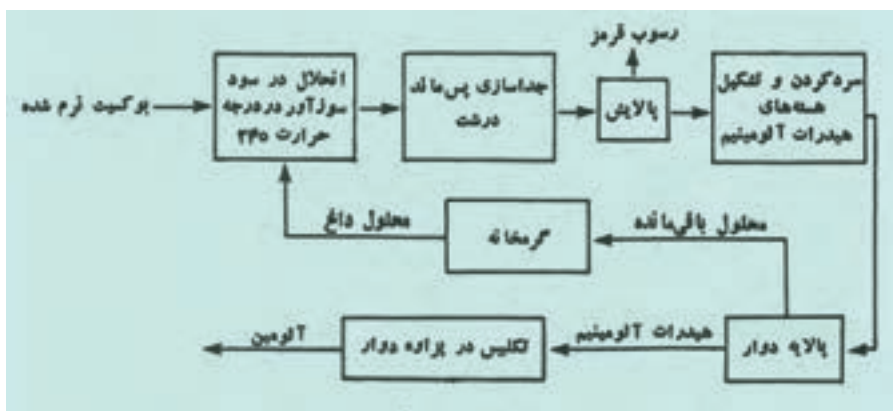
الف: واکنش های آلومینیم تری هیدرات



ب: واکنش های آلومینیم منوهیدرات



در عمل هر دو واکنش نسبت به درجه حرارت حساس می باشند. اگر غلظت سود و درجه حرارت بالا باشد، هر دو واکنش به سمت راست و در غیر اینصورت به سمت چپ فعال می شوند. لذا پس از حذف ناخالصی های نامحلول و در جریان سرد کردن، هسته های بلوری آلومینیم هیدرات تشکیل می شود. پس از پالایه مجدد و تکلیس باقیمانده در درجه حرارت ۱۲۰۰ سانتیگراد که عموماً در کوره های دوار انجام می گیرد، هیدرات آلومینیم تجزیه شده و آلومین که برای الکترولیز مناسب می باشد باقی می ماند. در شکل ۱-۵ مراحل مختلف این روش که در صنعت بکار می رود نشان داده شده است.



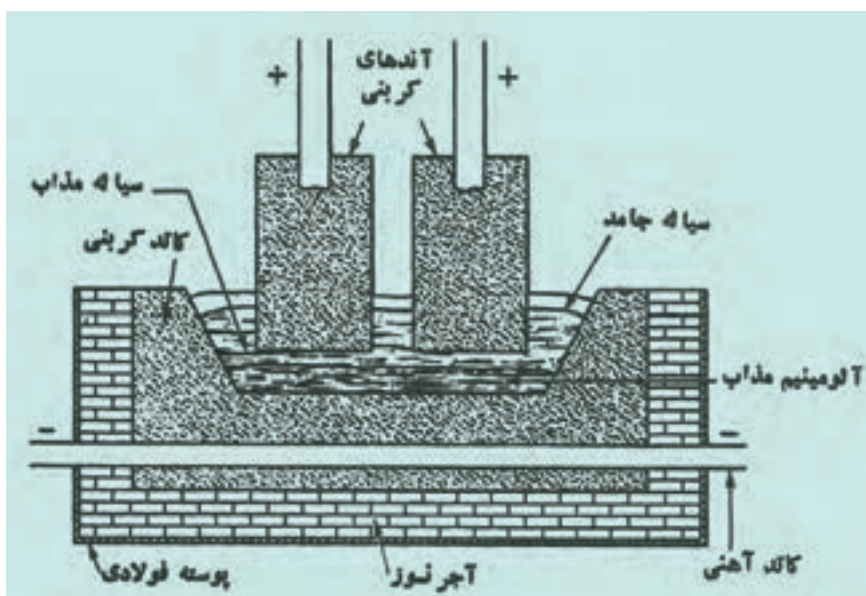
شکل ۱-۵: فرایند بایر

۲-۲-۵- الکترولیز (احیا و ذوب):

در شکل ۲-۵ نمای یکی از حمامهای الکترولیز آلومینیم با دو آند نشان داده شده است. قسمت های اصلی در این شکل عبارتند از:

جداره حمام که از یک پوسته فولادی، آجرهای نسوز و عایق تشکیل یافته است. داخل جداره کاند از کربن و یا تکه های گرافیت ساخته شده است که از قیر و یا گرد ذغال کک نیز برای اتصال بعنوان چسب استفاده گردیده است. در داخل محفظه کاتد، محلول الکترولیت که از کریولیت مذاب و افزودنیهای نظیر فلوئورکلسیم، فلوئورآلومینیم و آلومین تشکیل

شده، قرار می گیرد. ترکیب عمومی محلول های الکترولیت در الکترولیز آلومینا به شرح زیر است:



شکل ۵-۲: سلول الکترولیز تهیه آلومینیم خالص تجاری

کریولیت Na_3AlF_6 ۷۵ تا ۹۵ درصد به فرمول

آلومینا Al_2O_3 ۲ تا ۸ درصد به فرمول

آلومینیم فلوئور AlF_3 ۱۰ تا درصد به فرمول

کلسیم فلوئور CaF_2 ۵ درصد به فرمول

آندها که از نظر تعداد (و برحسب اندازه هر سلول) تا ۲۰ عدد نیز می رسد، از ذغال و یا الکترودهای سودبرگ^۱ (الکتروده از کربن بی شکل) ساخته می شود.

عمل الکترولیز در درجه حرارتی حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد انجام می گیرد و آلومینیم

۱- Soder berg

حاصل از تجزیه آلومین در سطح کاتد و در کف کوره جمع می شود. در کاتد سدیم آزاد شده ولی به سرعت با یکی از فلئوئورها ترکیب شده و از این رو غلظت کریولیت ثابت می ماند. ولتاژ و اختلاف پتانسیل حدود ۵ ولت می باشد ولی با کاهش مقدار آلومین، اختلاف پتانسیل افزایش یافته و در خاتمه کار ممکن است به ۳۰ ولت نیز برسد. در عمل چندین سلول را بطور سری قرا می دهند تا عملاً با اختلاف پتانسیل حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ ولت کار کند. در این حال آلومینیم حاصل از نظر تجارتي درجه خلوصی بیش از ۹۹/۵ درصد دارد ناخالصی های عمده ی آنها بصورت زیر می باشد:

سیلیسیم (Si) تا ۰/۱ درصد، آهن (Fe) تا ۰/۱۲ درصد و بقیه ناخالصیها جمعا در حدود ۰/۲۸ درصد در عمل همواره سعی می شود که با کنترل صحیح در محلول الکترولیت و انتخاب کاتد و آند خالص و آلومین اولیه درجه خلوص بیشتری (تا ۹۹/۹ درصد نیز می رسد) بدست آید.

۳-۵- آلیاژهای آلومینیم

آلومینیم خالص خواص مکانیکی ضعیفی دارد و جز در موارد خاص، کمتر بصورت خالص استفاده می شود. از طرف دیگر آلومینیم می تواند با عناصری نظیر مس، منیزیم، سیلیسیم، روی، منگنز، کرم، قلع، تیتانیم، لیتیم و کلسیم آلیاژهای متعددی ایجاد نماید که هر یک کاربرد و خواص ویژه ای دارند.

۱-۳-۵ آلومینیم خالص تجاری

آلومینیم خالص تجاری که معمولاً بیش از ۹۹ درصد درجه خلوص دارد، مصارف کاربردی کمی داشته و عموماً در صنایع الکتریکی، نظیر الکتروموتور، کندانسور، اتصال کابل و... به کار می رود.

آلومینیم خالص تجارتي خواص ریخته گری نامناسبی دارد و عملاً از نظر سیالیت و انقباض مشکلاتی را ایجاد می کند. در بسیاری موارد با افزودن تا ۰/۵ درصد سیلیسیم خواص ریخته گری این فلز بهبود می یابد. قطعات ریخته شده آلومینیم خالص در قالب های ماسه

ای و فلزی از نرمی زیاد و انعطاف پذیری بالا برخوردار هستند. در حالیکه استحکام و سختی آنها پایین است.

۲-۳-۵- آلومینیم-مس

افزودن مس به آلومینیم استحکام آلومینیم را بالا می برد. آلیاژهای آلومینیم با ۸ تا ۱۲ درصد مس در قدیم استفاده زیادی داشتند اما پس از کشف آلیاژهای با ۴/۵ درصد مس و امکان عملیات حرارتی آنها به دلیل مشکلات ریخته گری آلیاژهای آلومینیم و مس، استفاده از آلیاژهای ۸ تا ۱۲ درصد مس کاهش یافت. آلیاژهای آلومینیم-مس عموماً دارای دامنه انجماد وسیع می باشند در نتیجه انقباضات پراکنده در آنها زیاد است. به همین علت کاربرد مبرد در کاهش انقباضات ضروری است. همچنین جذب گاز این آلیاژها نسبتاً زیاد است و گاززدایی با کلر و ازت لازم است.

برای افزایش سیالیت و قابلیت ریخته گری آلومینیم، افزودن مقداری سیلیسیم می تواند خواص ریخته گری را به مقدار زیادی افزایش دهد. آلیاژهای آلومینیم-مس دارای خواص ماشین کاری خوبی هستند. این آلیاژها بعد از عملیات حرارتی کامل، سختی و استحکام بالایی دارند و در ساخت قطعات کشتی، هواپیما، اتصالات موتور، پیستون و... استفاده می شوند. به دلیل مقاومت به خوردگی پایین این آلیاژها نمی توان از آنها برای تولید پمپ، شیر و یا قطعات مقاوم به خوردگی استفاده کرد. شکل ۳-۵



شکل ۳-۵: چند نمونه از قطعات ریخته شده از آلومینیم-مس

۳-۳-۵- آلومینیم- سیلیسیم

مهمترین آلیاژهای آلومینیم آلیاژهای آلومینیم و سیلیسیم هستند که به سیلومین معروفند و از آلیاژهای مخصوص ریخته گری به شمار می آیند. این آلیاژها، در مقیاس صنعتی معمولا از ۵ تا ۱۲ درصد سیلیسیم تشکیل می شوند. آلیاژهای این دسته از مشخصات ریخته گری بسیا ر مطلوب برخوردار هستند. سیالیت بسیار زیاد این آلیاژها بهترین و مناسب ترین شرایط برای ریخته گری را ایجاد می کند و همین امر کاربرد این آلیاژها را در ریختن قطعات نازک تسهیل می نماید. (شکل ۴-۵)



شکل ۴-۵: برخی از قطعات ساخته شده از آلیاژ آلومینیم با ۱۲ درصد سیلیسیم

برای تولید این آلیاژها، ابتدا آلومینیم را ذوب می کنند، سپس آمیزان (آلیاژ سازها) با ترکیب ۱۳ یا ۲۲ درصد سیلیسیم به مذاب می افزایند. این آلیاژها حداکثر ۱۴ درصد سیلیسیم دارند. از این آلیاژها برای ریخته گری در ماسه و قالبهای فلزی استفاده می شود. آلیاژ با ۱۱/۶ درصد سیلیسیم از نظر خواص ریخته گری بسیا ر مطلوب است. بنابراین قطعات پیچیده را با این آلیاژ می توان ریخته گری کرد. برای بهبود خواص معمولا به آنها ۰/۰۱ درصد سدیم اضافه می شود. در شکل (۵-۵) قطعات صنعتی نظیر سرسیلندر اتومبیل،

گیربکس اتومبیل، و پروانه های پمپ با دقت ابعادی زیاد که از جنس آلیاژهای ریختگی آلومینیم تهیه شده اند، نشان داده شده است.



ب



الف



ج

شکل ۵-۵: بعضی از کاربردهای آلیاژهای آلومینیم (الف) سر سیلندر اتومبیل (ب) پوسته گیربکس اتومبیل (ج) پروانه های پمپ با دقت ابعادی بالا.

۴-۳-۵- آلومینیم- سیلیسیم- مس

این آلیاژهای از مهمترین آلیاژهای آلومینیم محسوب می شوند از نظر کمیت مقدار سیلیسیم و یا مس به دو گروه تقسیم می شوند. گروه اول آلیاژهایی که حاوی تا حدود ۱۰ درصد مس هستند و مقدار سیلیسیم آنها از ۲ تا ۳ درصد تجاوز نمی کند و در گروه دوم آلیاژهایی که شامل تا ۵ درصد سیلیسیم می باشند و مقدار مس آنها از سیلیسیم کمتر است.

در هر دو حالت اثرات عملی عنصر سوم بخوبی مشهود است، سیلیسیم باعث بهبود خواص ریخته گری آلیاژهای حاوی مس می شود در حالیکه مس استحکام آلیاژهای آلومینیم-

سیلیسیم را افزایش می دهد. این آلیاژها در کاربردهایی که مقاومت به خوردگی شیمیایی زیاد نیاز نمی باشد استفاده می شوند. اگزوز و سیلندر از این آلیاژ ساخته می شوند.

۵-۳-۵- آلومینیم-منیزیم

این آلیاژها در سال های اخیر بدلیل شرایط ویژه ریخته گری، بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. آلیاژهای آلومینیم که مقدار منیزیم آنها از ۵ درصد بیشتر است از نظر ریخته گری و کنترل مذاب اشکالات بیشتری دارند.

واکنش های منیزیم با اکسیژن هوا در جریان ذوب و یا با رطوبت قالب در جریان بارریزی و انجماد از مسائل عمده ای است که آلیاژهای آلومینیم-منیزیم دارند. بنابراین در هنگام ریخته گری این آلیاژها باید تمهیدات ویژه ای در نظر گرفته شود.

آلیاژهای آلومینیم-منیزیم نسبتاً سبک بوده و از مقاومت عالی در برابر خوردگی برخوردار هستند. موارد مصرف این آلیاژها متعدد و در کشتی سازی، زیردریایی، هواپیماسازی و ابزار معدن بکار می روند، علاوه بر آن در مصارف ساختمانی نیز از این آلیاژها استفاده می شود. سیلیسیم در حالیکه خواص ریخته گری این آلیاژ را افزایش می دهد با تشکیل فاز شکننده Mg_2Si سختی و شکنندگی آلیاژ را نیز زیاد می کند.

مس و روی مقاومت به خوردگی را که از مهمترین خواص این آلیاژها محسوب می شود کاهش داده و از این رو مقدار آنها محدود می باشد، در حالیکه وجود مس می تواند خواص مکانیکی آلیاژ را نیز افزایش دهد.

۴-۵- استانداردهای آلیاژهای آلومینیم

در اغلب کتابها و منابع که به تکنولوژی و فن شناسی اهمیت بیشتری می دهند، این تقسیم بندی بر اساس کاربرد و زمینه های مختلف کاربری فلز یا آلیاژ انجام می گیرد. بطورمثال در مبحث آلومینیم تقسیم بندی بصورت آن است که:

آلیاژهای مقاوم مکانیکی، آلیاژهای مقاوم در مقابل خوردگی، آلیاژهای هادی و... ولی از نظر اصول علمی و نحوه تدریس نمی توان روش فوق را بطور کامل اجرا نمود و از اینرو سعی

می شود که با تقسیم بندی آلیاژها بر اساس کیفیت مطالعاتی و یادگیری در هر قسمت به زمینه های کاربرد آنها نیز اشاره شود.

آلیاژهای آلومینیم به دو دسته ی آلیاژهای ریختگی^۱ و آلیاژهای نوردی (کارپذیر)^۲ تقسیم می شوند. هر یک از دو دسته فوق نیز به دو گروه آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر^۳ و عملیات حرارتی ناپذیر^۴ تفکیک می شوند. در جداول ۲-۵ و ۳-۵، ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریختگی و نوردی آلومینیم نشان داده شده است. در این جداول، آلیاژهایی که عملیات حرارتی پذیر هستند با حرف (T) مشخص شده است.

در خلال سالهای اولیه صنعت آلومینیم هرآلیاژ جدیدی که ساخته و پرداخته می شد بوسیله کمپانی های سازنده و به اسامی مورد قبول آنها نامگذاری می گردید و هیچگونه نام گذاری بین المللی وجود نداشت. بعدها بتدریج سه گروه کلی نامگذاری عمومیت یافت که عبارت بودند از سیستم تجارتي^۵، سیستم ASTM^۶ و سیستم SAE^۷، مثلاً آلیاژی که امروزه آلیاژ آلومینیم ۱۱۰۰ نامیده می شود در سیستم تجارتي، S_p، در سیستم ASTM، ۹۹۰A، و در سیستم SAE، ۲۵ نامیده می شد. بهمین ترتیب در سایر کشورها نیز سیستمهای قراردادی دیگر مورد استفاده قرار می گرفت. واضح است که یک چنین اسامی مختلف و درهمی برای صنعت نامناسب است. به ناچار یک سیستم مشخص تر و استانداردتر به اسم AA^۸ برای آلیاژهای کارپذیر آلومینیم یعنی آلیاژهایی که از طریق مکانیکی به شکل لازم درمی آیند و نه از طریق ریخته گری پیشنهاد و اکنون مورد استفاده قرار می گیرد. در این سیستم نامگذاری، آلیاژهای کارپذیر آلومینیم براساس عناصرآلیاژی اصلی خود به هشت گروه مختلف تقسیم می گردند (جدول ۳-۵). در هرگروه نیز مشخصات کامل آلیاژ بوسیله

۱- Cast alloy

۲- Wrought alloy

۳- Heat treatable

۴- Non heat treatable

۵- Comercial

۶- American Society for Testing Materials

۷- Society of Automotive Engineers

۸- Aluminium Association

چهار عدد از هم تفکیک می گردد. رقم اول از سمت چپ نشاندهنده گروه اصلی آلیاژی است. دومین رقم تغییر آلیاژ نسبت به آلیاژ اولیه را نشان می دهد. سومین و چهارمین عدد مقدار خلوص یا نوع آلیاژ را مشخص می کند.

جدول ۲-۵- ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریختگی آلومینیم

((استاندارد انگلیسی LM. علامت اختصاری Light Metals)) فلزات سبک می باشد.

نوع آلیاژ LM	% مس	% منیزیم	% سیلیسیم	% منگنز	% عناصر دیگر	مصارف اصلی
LMO	-	-	-	-	آلومینیم ۹۹/۵	ریخته گری در ماسه برای مصارف الکتریکی - نهیه ورق در مصارف شیمیایی و مواد غذایی
LM۱	۷	-	۳	-	روی ۳	مصارف عمومی ریخته گری در قالب ویژه مصارف
LM۲	۱/۵	-	۱۰/۰	-	-	ریخته گری تحت فشار
LM۳	۳/۵	-	-	-	روی ۱۱	مصارف عمومی برای ریخته گری در ماسه
LM۴ (T)	۳	-	۵	۰/۵	-	یکی از آلیاژهای بسیار مناسب برای ریخته گری.
LM۵	-	۴/۵	-	۰/۵	-	ریخته گری در ماسه و قالب ویژه، مقاوم به خوردگی در کشتی ها
LM۶	-	-	۱۲	-	-	آلیاژ بسیار سیال و مناسب برای ریختن قطعات نازک
LM۸ (T)	-	۰/۵	۵	-	-	مقاوم به خوردگی با استحکام زیاد
LM۹ (T)	-	۰/۴	۱۲/۰	۰/۵	-	مانند LM۶ با مقاومت بیشتر بعد از عملیات حرارتی
LM۱۰ (T)	-	۱۰	-	-	-	آلیاژ بسیار مقاوم - در ریخته گری باید توجه شود
LM۱۱	۴/۵	-	-	-	-	مقاومت بالا و نرمی زیاد
LM۱۲ (T)	۱۰	۰/۳	-	-	روی تا ۰/۸	مناسب برای درجه حرارت های بالا
LM۱۳	۱/۰	۱/۰	۱۲	-	نیکل ۱/۶	مناسب برای پیستون موتورهای بنزینی
LM۱۴	۴	۱/۵	-	-	نیکل ۴	مناسب برای درجه حرارت های بالا، پیستون های ویژه
LM۱۶ (T)	۱/۵	۰/۵	۵	-	-	خواص مقاومتی بالا
LM۱۸	-	-	۵	-	-	مشخصات ریخته گری خوب، مقاوم به خوردگی
LM۲۰	-	-	۱۲	-	-	مانند LM۶ با ناخالصیهای بیشتر
LM۲۱	۴	۰/۲	۶	۰/۵	روی تا ۰/۲	مانند LM۴ با قابلیت ماشینکاری بهتر
LM۲۲ (T)	۳/۵	-	۵	۰/۵	-	مصارف عمومی ریخته گری در ویژه

جدول ۳-۵- برخی از آلیاژهای نوردی (کارپذیر) آلومینیم (استاندارد A.A).

نوع آلیاژ	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
سایر عناصر	منگنز	آهن	سیلیسیم	منیزیم	مس	آلومینیم	
-	-	-	-	-	-	>۹۹	۱۱۰۰
-	-	-	-	-	-	>۹۹/۳	۱۱۳۰
-	-	-	-	-	-	>۹۹/۳۵	۱۲۳۵
-	-	-	-	-	-	>۹۹/۴۵	۱۳۲۳
-	-	-	-	-	-	>۹۹/۶۰	۱۰۶۰
۰/۵ سرب - ۰/۵ پیسوت -	۰/۶	-	۰/۸	۰/۴	۵/۵	باقی مانده	۲۰۱۱ (T)
نیکل ۲	-	-	-	۰/۶	۲/۴	*	۲۰۱۲ (T)
-	-	-	-	۰/۶	۲	*	۲۰۱۸ (T)
-	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱-۱/۵	۲/۴	*	۲۰۲۲ (T)
-	۰/۸	۰/۸	-	-	۲/۵	*	۲۰۲۵ (T)
-	۱/۴	-	-	-	-	*	۲۰۰۳
-	۱/۴	-	-	۱/۰	-	*	۲۰۰۴
نیکل ۰/۹	-	-	۱۲/۴	۱/۱	۰/۱	*	۲۰۲۱
-	-	-	۵	-	-	*	۲۰۲۳
-	-	-	۷/۵	-	-	*	۲۲۲۳
-	-	-	۱۰/۱۰	-	-	*	۲۰۲۵
-	-	-	-	۰/۸	-	*	۵۰۰۵
-	-	-	-	۱/۴	-	*	۵۰۵۰
تا ۰/۲۵ کرم	-	-	-	۲/۵	-	*	۵۰۵۲
-	-	-	-	۲/۵	-	*	۵۲۵۲
تا ۰/۲۵ کرم	-	-	-	۳/۵	-	باقی مانده	۵۱۵۲
تا ۰/۱ کرم	۰/۵	-	-	۴/۱۰	-	*	۵۰۸۶
تا ۰/۶ ب	-	-	۰/۵	۰/۶	-	*	۶۱۰۱
کرم تا ۰/۲۵	۰/۵	-	۰/۱	۰/۴	-	*	۶۱۵۱ (T)
کرم تا ۰/۲۵	-	-	۰/۴	۰/۴	-	*	۶۰۶۳ (T)
-	-	-	۰/۶	۱	۰/۲	*	۶۰۶۱ (T)
روی ۷/۴	-	-	-	۳/۱۰	۲/۱	*	۷۰۰۱ (T)
روی ۵/۶، کرم ۰/۳	-	-	-	۲/۵	۱/۶	*	۷۰۷۵ (T)
روی ۰/۶۸، کرم ۰/۳	-	-	-	۲/۴	۲	*	۷۱۷۸ (T)
روی ۲/۳	۰/۴	-	-	۳/۴	۰/۶	*	۷۰۷۱ (T)

در رابطه با این سیستم نامگذاری ابتدا گروه ۱۰۰۰ در نظر گرفته می شود. این گروه در واقع آلومینیمی را نشان می دهد که حداقل خلوص آن ۹۹/۰۰ درصد است، بقیه ۱ درصد باقی مانده شامل برخی عناصر خاص چون سیلیسیم، آهن، منیزیم و تعداد دیگری عناصر

است که آنها را بیشتر بعنوان ناخالصی معرفی می کنند تا عنصرآلیاژی. مقادیر این عناصر در جداول استاندارد ترکیبات آلیاژی در واقع حداکثر مقدار مجاز هر یک را نشان می دهد. این عناصر ناخالصی، هریک بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی آلومینیم تاثیر خاص خود را دارد و مقادیر بیش از حد مجاز آنها می تواند چنان تاثیری بگذارد که آلومینیم خواص مورد درخواست را بدست نیاورد. اگر چنین چیزی اتفاق افتد لازم است که مقدار مجاز آن عنصر تغییر داده شود. در اینجاست که رقم دوم از سمت چپ نشاندهنده این تغییر یا کنترل مقدار عنصر مربوطه است. همانگونه که قبلاً گفته شد رقمهای سوم و چهارم از سمت چپ مقدار ناخالصی (یا خلوص) را تعیین می کند. مثلاً ترکیب ۱۰۶۰ دارای حداقل درصد خلوص ۹۹/۶۰ درصد است. یعنی مقدار ناخالصی نمی تواند از ۰/۴۰ درصد بیشتر باشد. با مقایسه این ترکیب با ترکیب ۱۲۶۰ که دارای همان مقدار ۰/۴۰ درصد ناخالصی است می توان دید که اختلاف بین این دو ترکیب این است که در ترکیب ۱۲۶۰ کنترل خاصی نیز بر روی مقدار یک یا چند عنصر وجود دارد، مثلاً در این مورد مجموع ناخالصی ها نباید بیش از ۰/۴۰ درصد باشد و در ضمن مقدارمس نباید از یک دهم این مقدار (یعنی بیش از ۰/۰۴ درصد) باشد. توجه شود که خود رقم دوم از سمت چپ از نظر عددی هیچگونه معنی خاصی ندارد و فقط بعنوان قرار دادی از AA مطرح گردیده است.

گروههای ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ را بر خلاف گروه ۱۰۰۰ که بعنوان آلومینیم شناخته شده است، آلیاژهای واقعی آلومینیم می نامند. در این گروههای آلیاژی اعداد سوم و چهارم از سمت چپ فقط جهت تفکیک آلیاژها در یک گروه از هم بکار می روند. رقم دوم مانند قبل نشاندهنده تغییر یا کنترل خاصی بر روی آلیاژ است. اگر این رقم صفر باشد به معنی این است که در آلیاژ مربوطه از ابتدای ثبت آن هیچگونه تغییری داده نشده است. اعداد ۱ تا ۹ نشاندهنده تغییر یا اصلاح آلیاژ اولیه است و خود عدد نشاندهنده مرحله تغییر است، مثلاً آلیاژ ۲۲۱۸ بمعنی دومین تغییر در آلیاژ ۲۰۱۸ است، یعنی اینکه ترکیب آلیاژ همان ترکیب ۲۰۱۸ می باشد، به استثناء اینکه مقدار منیزیم آن حدوداً به دو برابر مقدار اولیه آن رسیده است.

علاوه بر استاندارد انگلیسی LM، آلیاژهای ریختگی یعنی قطعاتی که از طریق ریخته گری به شکل مورد نظر در آورده می شوند در سیستم AA به صورت یک عدد چهار رقمی که بین رقمهای سوم و چهارم از سمت چپ یک نقطه گذاشته می شود، نام گذاری گردیده است. اولین رقم از سمت چپ نشاندهنده گروه آلیاژی می باشد که در جدول ۴-۵ مشخص گردیده است. دو رقم بعدی (درست مانند دورقم سوم و چهارم در آلیاژهای کارپذیر) مشخص کننده نوع آلیاژ و یا خلوص آلومینیم است. آخرین رقم بعد از نقطه نوع تولید را نشان می دهد، مثلاً صفر برای قطعه ریختگی و عدد یک برای شمش بکار می رود.

جدول ۴-۵-سیستم نامگذاری AA آلیاژهای ریختگی

گروه آلیاژی	۱XXX-X	۲XXX-X	۳XXX-X	۴XXX-X	۵XXX-X	۷XXX-X	۸XXX-X	۹XXX-X	۶XXX-X
عنصر اصلی آلیاژی	آلومینیم با خلوص ۹۹٪ بیشتر	مس	سیلیسیم همراه با مقداری مس یا منیزیم با هردو	سیلیسیم	منیزیم	روی	فلح	سایر عناصر استفاده نشده	گروههای

بهر صورت از جدول ۲-۵ چنین استنباط می گردد که آلیاژهای ریختگی آلومینیم عموماً از عناصر متعددی تشکیل یافته است که مهمترین آنها مس، منیزیم و سیلیسیم می باشد. با اندک توجهی به جدول ۳-۵ نیز مشخص می گردد که همین عناصر در مورد آلیاژهای نوردی نیز اهمیت بسیار دارند. روی و نیکل نیز دو فلزی محسوب می شوند که اهمیت آنها بعد از سه عنصر فوق قرار دارد. عناصر دیگری نظیر تیتانیم، بُر و لیتیم از نظر آلیاژسازی در شرایط فعلی فاقد اهمیت ولی از نظر تاثیر در جوانه زایی، دانه بندی، اکسیدزدایی و سایر عملیات کیفی از اهمیت ویژه برخوردارند.

تمام آلیاژهای کارپذیر آلومینیم، ابتدا بصورت شمش تولید می شوند، انواع شمشال^۱

تختال^۱ که در نورد، پتک کاری و فشارکاری آلومینیم بکار می روند، بصورت شمش تولید می شوند. عملیات کیفی، کنترل ترکیب، گاززدایی، اکسیژن زدایی و جوانه زنی در مذاب برای تولید شمش ها از آنچه که در شکل ریزی خواهد آمد جدا نیست.

قالب های ساده، قالب های گردان، روش تولید شمش دورویل، قالبهای آبگرد^۲ از انواع روشهای ریخته گری تکباری (منفرد) و روشهای ریخته گری مداوم و نیمه مداوم و همچنین انواع روش های تسمه ریزی، در تهیه آلیاژهای نوردی کارپذیر آلومینیم مورد استفاده قرار می گیرند.

۱- Slab

۲- Water Cooled

۱- کدام یک از خواص آلومینیم سبب گسترش روز افزون استفاده آلومینیم در صنعت می باشند؟

۲- علت استفاده از آلیاژهای آلومینیم در صنایع هوایی را توضیح دهید؟

۳- در استخراج آلومینیم عمل الکترولیز آلومینیم در چه شرایطی صورت می گیرد. محصول آن چیست؟

۴- سنگ معدن آلومینیم چه نام دارد. ترکیب عمومی آن را بنویسید؟

۵- موارد استفاده آلومینیم را نام ببرید؟ (حداقل چهار مورد)

۶- خواص ریخته گری آلومینیم خالص تجاری چگونه است. در صورت وجود مشکل در خواص ریخته گری نحوه بهبود آن چگونه است؟

۷- علت کاهش استفاده از آلیاژ آلومینیم ۸ تا ۱۲ درصد مس چیست؟

۸- برای ریخته گری قطعات نازک و پیچیده کدام یک از آلیاژهای آلومینیم مناسب است؟

۹- کدام یک از آلیاژهای آلومینیم برای استفاده در محیطهای دریایی و کشتی مناسب است. توضیح دهید.

۱۰- آلیاژهای آلومینیم به چند دسته تقسیم می شوند؟

مس و آلیاژهای آن

هدف های رفتاری: در پایان فصل از هنرجو انتظار می رود که:

- ۱- خواص مس را توضیح دهد.
- ۲- استخراج مس از سنگ معدن را شرح دهد.
- ۳- دسته بندی آلیاژهای مس، را توضیح دهد.
- ۴- خواص آلیاژهای مس را توضیح دهد.
- ۵- استاندارد طبقه بندی آلیاژهای مس را شرح دهد.

مقدمه

مس قدیمی ترین فلز صنعتی است که بشر از حدود ۵ هزار سال قبل از میلاد با آن آشنا شده است. برخی عقیده دارند که اولین فلز شناخته شده طلا می باشد ولی در هر حال تمام محققین بر این عقیده متفق هستند که دستیابی بشر به صنایع فلزی با شناخته شدن مس آغاز گردیده است. کاهش ذخایر سطحی مس منجر به استفاده بشر از آلیاژ مس و قلع تحت نام مفرغ (برنز) گردید و بدین ترتیب دوره مفرغ در تاریخ تکامل و تحول های صنعتی بشر از ۳ هزار سال قبل از میلاد آغاز گردید و در هزاره اول قبل از میلاد با کشف آهن پایان پذیرفت. کشف آهن و تولید فولاد ارزش های دفاعی و تهاجمی مس در ساختن نیزه، سپر، خنجر، و... را کاهش داد و برای مدت های طولانی مس و آلیاژهای آنها بیشتر در مصارف خانگی و تزئینی بکار میرفت. دوره رونق کلیسا، برای برنج سازان نیز یک دوره طلایی محسوب می شود و با شناخت قابلیت طنین صدا که در مس و آلیاژهای آن وجود دارد این فلز مصارف جدیدی پیدا کرد. دستیابی بشر به اسلحه گرم و رواج صنایع الکتریکی نیز رونق و گسترش جدیدی برای کاربرد مس محسوب می گردد.

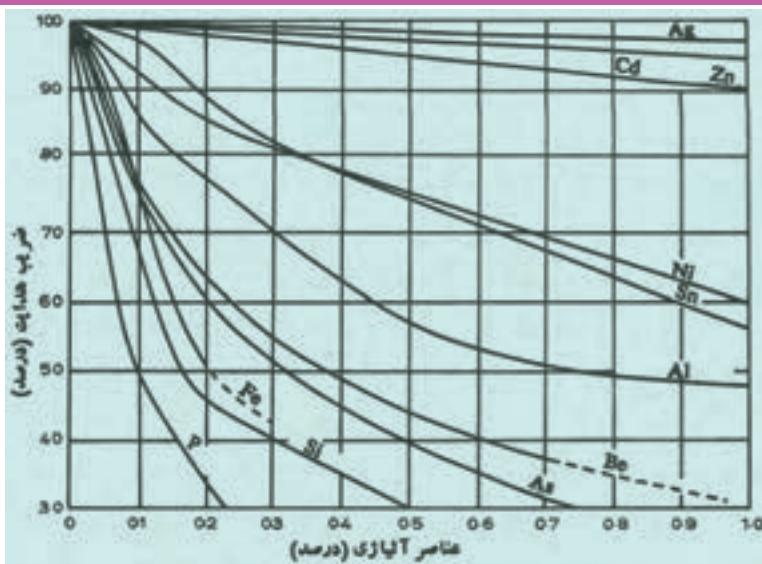
۱-۶- خواص و کاربرد مس

نقطه ذوب مس ۱۰۸۳ درجه سانتیگراد و نقطه جوش آن ۲۵۷۰ درجه سانتیگراد می باشد. نقطه ذوب مس از آهن و فولادها کمتر بوده و از این رو با شرایط آسان تری ذوب می شود. گرمای نهان گداز مس حدود ۳/۲۳ کیلوکالری بر اتم گرم و یا تقریباً برابر ۵۰/۸ کالری بر گرم می باشد. و این مقدار گرمایی است که در جریان ذوب برای متلاشی شدن ساختار بلوری مس جامد (مکعب با سطوح مرکزدار) و تشکیل ساختار مذاب صرف می شود. وزن مخصوص مس برابر ۸/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد و همانگونه که استنباط می شود، نقطه ذوب و وزن مخصوص مس در مقادیری نیستند که به دلیل زود ذوبی و یا سبکی مصارف صنعتی مس را افزایش دهند.

مس بعد از نقره هادی ترین عنصر می باشد. هدایت حرارتی مس نسبت به نقره برابر ۹۲ درصد است، مقاومت الکتریکی آن برابر ۱/۵۸ میکرو اهم بر سانتیمتر مربع است و یکی از مهم ترین موارد مصرف مس بر قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی آن استوار می باشد. حضور عناصر ناخالصی و یا آلیاژی قابلیت هدایت مس را به شدت کاهش می دهد و از این رو در مصارف الکتریکی و انتقال الکتریسیته از مس بسیار خالص با ترکیب بیشتر از ۹۹/۹۹ درصد مس استفاده می شود. در شکل ۱-۶ تاثیر عناصر مختلف در کاهش هدایت الکتریکی مس نشان داده شده است.

مس خالص فلزی است نرم که سختی آن بسیار پایین است ولی قابلیت آلیاژسازی مس با سایر عناصر نظیر روی، قلع، سرب، آلومینیم، سیلیسیم و... باعث گردیده است که دامنه آلیاژهای مختلف مس بسیار وسیع باشد و در آلیاژهای متعدد آن یک یا چند خاصیت نظیر استحکام، زیبایی، هدایت، شکل پذیری و... وجود داشته باشد.

دامنه آلیاژهای مس بسیار وسیع است و در این مورد شاید بتوان اظهار کرد که آلیاژهای مس در میان فلزات غیرآهنی از تمام آنها متنوع تر و متعددتر هستند. درحالیکه آلومینیم و آلیاژهای آن برخی از مصارف و کاربردهای مس را محدود کرده اند ولی امروزه مس و آلیاژهای آن دامنه کاربردی وسیع خود را حفظ کرده اند. آلیاژهای مس معمولاً بر اساس



شکل ۱-۶ تاثیر عناصر ناخالصی (آلیاژی) در هدایت الکتریکی مس

کاربرد آنها دسته بندی می شوند، در این حال عناصر ترکیبی به گونه ای هستند که امکان دسته بندی آنها را براساس نوع آلیاژ و شرایط ذوب و ریخته گری نیز میسر می سازد. مصارف مختلف مس و زمینه های کاربردی آلیاژهای آن معمولا بر یک یا چند از خواص زیر استوار می شود:

۱. هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار خوب و بالا.
 ۲. مقاومت بسیار خوب در محیط های خوردنده و خوردگی.
 ۳. مقاومت به فرسودگی
 ۴. طنین صدا.
 ۵. رنگهای دلپذیر و زیبا.
 ۶. نوع آلیاژی در ساخت قطعات مقاوم به کشش و فشار.
- که در هر حال می توان این زمینه ها را در تولید سیم، کابل و سایر مصارف الکتریکی، سماور، کتری، دیگ و سایر مصارف خانگی، برخی از وسایل صوتی، پمپ، شیرآب، پروانه کشتی و وسایل دیگری که مقاومت به خوردگی و استحکام نسبی مشخصه اصلی آنهاست

از قبیل چرخ دنده، بوش اهرم و سایر وسایل انتقال نیرو و همچنین در ساخت آلیاژهای یاتاقان جستجو نمود.

۲-۶- استخراج مس

مس به میزان تقریبی ۰/۰۰۳ درصد در پوسته زمین وجود دارد و یکی از معدود عناصری است که بصورت آزاد نیز در طبیعت یافت می شود، هر چند استخراج های متوالی مس در طی قرون و اعصار ذخایر مس خالص را تقریباً به صفر رسانیده است. منابع مس در دنیا متعدد می باشد و در ایران نیز ذخایر عظیم مس سرچشمه یکی از مهمترین معادن مس در دنیا محسوب می شود. در قدیم از معادنی که بیش از ۵ درصد مس داشت استفاده می کردند ولی امروزه استخراج از معادنی که کمتر از ۲ درصد مس دارد نیز انجام می گیرد.

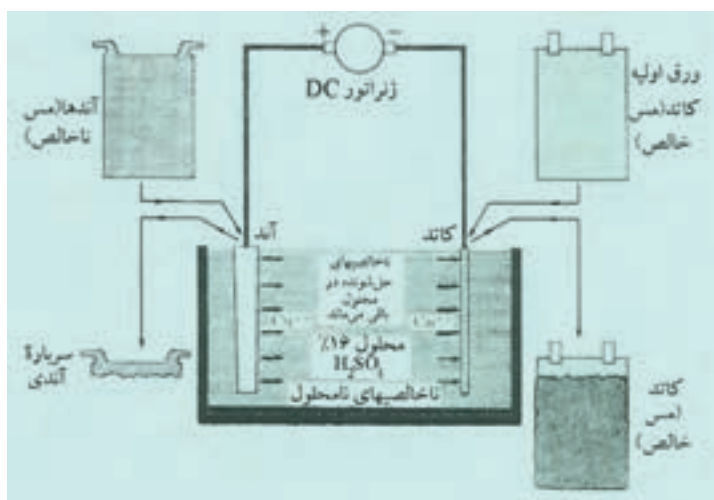
مس بصورت ترکیبات مختلف در معدن وجود دارد ولی کانی های معروف مس معمولاً بصورت سولفور و یا اکسیده هستند که معروفترین آنها کالکوپیریت به فرمول CuFeS_2 و کوپریت به فرمول Cu_2O و آزوریت به فرمول $\text{Cu}_3(\text{OH})_4(\text{CO}_3)_2$ و یا CuCO_3 ، $\text{Ca}(\text{OH})_2$ می باشد.

عناصر دیگری نظیر آرسنیک، سیلیسیم، طلا، نقره و مولیبدن در اغلب سنگهای معدن مس یافت می شود. پس از استخراج کانی به روش های مختلف خشک یا تر آنرا تغلیظ می کنند تا عیار آن به ۲۰ درصد می رسد. پس از تغلیظ و تشویه، سنگ معدن را در کوره های روربر و یا شعله ای ذوب می کنند. حاصل این کوره ترکیبی از مس و سایر مواد ناخالصی نظیر آهن، گوگرد، طلا و.... می باشد که تقریباً حاوی ۵۴ درصد مس می باشد و آن را مات مس می نامند.

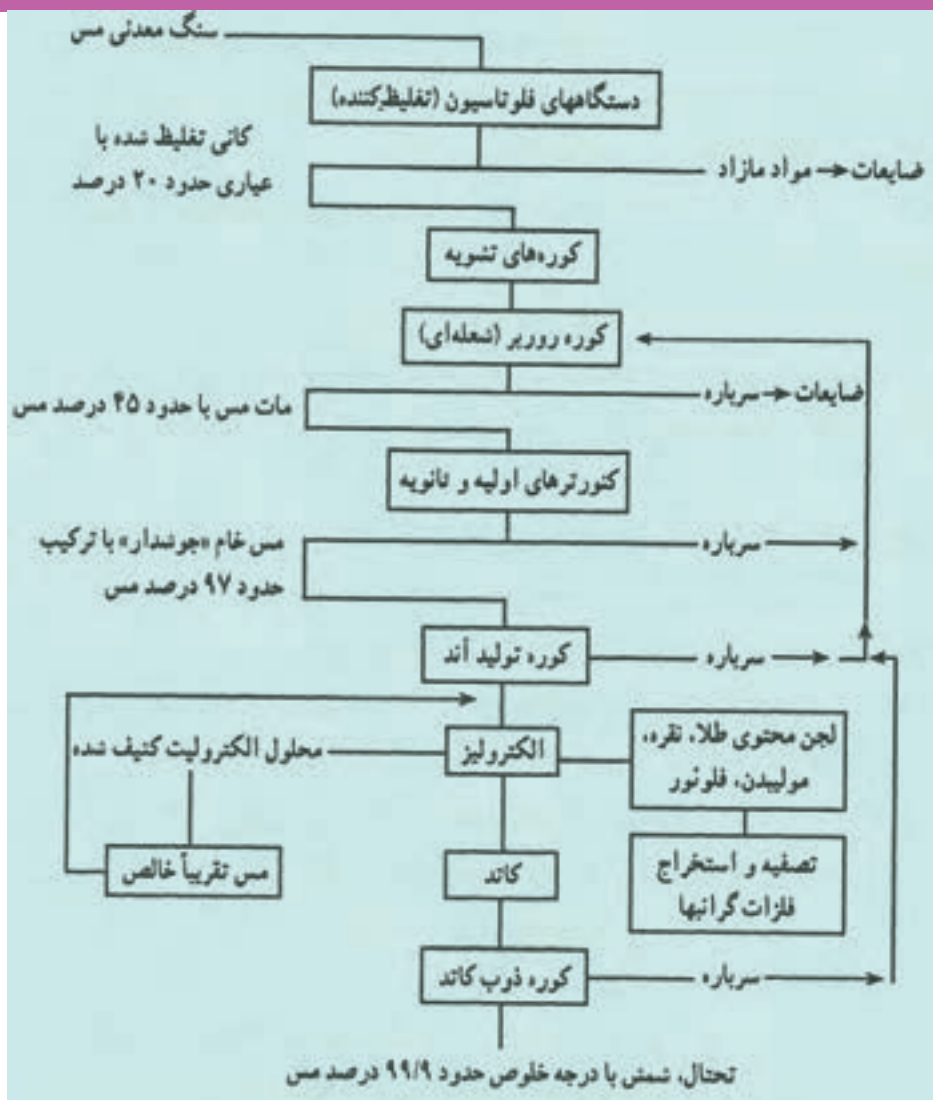
مات مس در کوره های مبدل (یا کنورتور) ریخته و با عبور هوا و اکسیژن از آن، ناخالصی ها و بخصوص آهن و گوگرد را اکسیده شده و به سرباره منتقل می گردد. این مس نیز ناخالص است و به دلیل وجود عناصر مختلف و مواد غیرفلزی و تداخل بیش از اندازه آنرا

مس بلیستر یا مس جوشدار و یا مس خام می نامند. مس خام در این مرحله بیش از ۷۵ درصد مس دارد که با ادامه کار کنورتور و یا استفاده از کنورتور ثانویه درجه خلوص آن تا ۹۷ درصد میرسد.

مس خام راپس از ذوب بصورت صفحاتی بزرگ و با ضخامت های حدود ۲/۵ سانتیمتر ریخته و آنها را بعنوان آند در الکترولیز مس به کار می برند ،کاتد از صفحات مس بسیار خالص تشکیل یافته و محلول الکترولیت از اسید سولفوریک و سولفات مس انتخاب می شود .پس از عبور جریان معین و حساب شده ،مس بصورت یک یون دو ظرفیتی از آند جدا شده و بر روی کاتد می نشیند. عناصر و فلزات ناخالص در محلول الکترولیت حل نمی شوند و از این رو در کف حمام الکترولیز به صورت لجن رسوب می کند (شکل ۲-۶) کاتدها را که حاوی مس الکترولیز شده می باشند و معمولا در مرحله اول الکترولیز حدود ۹۹/۹ درصد مس دارند ،ذوب کرده و در شکل و اندازه های معین و بر اساس برنامه تنظیمی ریخته گری می کنند. در شکل ۳-۶ روش ساده برای استخراج مس از سنگ های سولفوره نشان داده شده است.



شکل ۲-۶ : تصفیه الکترولیتی مس



شکل ۳-۶- روش تهیه مس

۳-۶- دسته بندی آلیاژهای مس

آلیاژهای مس نیز نظیر آلومینیم به دو دسته آلیاژهای کارپذیر (نوردی) و ریختگی تقسیم می گردند. هر دسته از این آلیاژها نیز برحسب شرایط ترکیبی و عناصر آلیاژ

می توانند عملیات حرارتی پذیر یا عملیات حرارتی ناپذیر باشند.

آلیاژهای ریختگی مس نیز مانند آلومینیم در روش های مختلف ریخته گری درماسه، ریژه و تحت فشار شکل می گیرند و آلیاژهای نوردی آن نیز بصورت تختال، شمشال و میله تولید می شود تا در شرایط مناسب و پس از کار مکانیکی بصورت سیم، مفتول، ورق و.. مصرف صنعتی پیدا نمایند.

مس حاصل از الکترولیز با ترکیب شیمیایی از ۹۹/۹ درصد مس همواره حاوی ناخالصی هایی است که در خواص آن و بخصوص هدایت الکتریکی مس تأثیر منفی دارند. اهم این ناخالصی ها عبارتند: از آنتیموان، آرسنیک، آهن، سرب، نقره، گوگرد، کادمیم و..

مس خالص تجارتي خواص ریخته گری نامطلوبی دارد و از این رو کم تر در ساخت قطعات مسی از روش ریخته گری استفاده می شود، در مقابل عناصر آلیاژی نظیر روی، قلع، آلومینیم، سیلیسیم و.. خواص ریخته گری مس را افزایش داده و از طرفی یا ازدیاد استحکام، قابلیت ماشین کاری، افزایش مقاومت به خوردگی و گاه ارزانی قیمت، دامنه کاربرد مس در صنعت را گسترش می دهند. ترکیب شیمیایی و مصارف صنعتی مس و آلیاژهای آن به شرح ذیل می باشد:

۱-۳-۶- مس الکترولیز شده: این نوع مس حدود ۹۹/۹ درصد مس داشته و حاوی ناخالصی های معمولی در مس می باشد. این مس به طریقه های فشاری، نورد و پتک کاری و همچنین به مقدار بسیار کم از روش ریخته گری شکل می گیرد. نوع نوردی آن بصورت سیم، مفتول، ورق، لوله و صفحه و نوع ریختگی آن بصورت قطعات هادی در صنایع الکتریکی مصارف متعدد دارند.

کارسرد، استحکام و سختی مس را افزایش داده و باتوجه به شرایط ریختگی نامطلوب از این آلیاژ در ریخته گری کمتر استفاده می شود. در حالیکه انواع مس سخت با ترکیب ۹۷ تا ۹۹/۵ درصد مس که حاوی عناصر آلیاژی نظیر کرم، برلیم، سیلیسیم و گاه تا ۳ درصد نیکل می باشند برای نورد نامناسب بوده و از طریق ریخته گری شکل می گیرد.

۲-۳-۶- مس های آلیاژی: مس های آلیاژی به دسته ای از مس تجاری اطلاق

می شود که عموماً حاوی بیش از ۹۸/۵ درصد مس بوده و برحسب نام تجاری دارای مقادیری فسفر، آرسنیک، کادمیم، کرم، سرب و... می باشند. که تحت عنوان مس فسفردار، مس آرسنیک دار، مس سرب دار و... در شکل های کار شده نظیر ورق، لوله، صفحه و... در صنایع مربوط به هدایت حرارتی نظیر سرمشعل، لوله یخچال، سیم های هادی پر مقاومت، فنرهای مختلف و... بکار می روند.

تنها عملیات حرارتی که بر روی مس و مس آلیاژی انجام می گیرد تنش گیری به منظور حذف تنش های داخلی است که در این حال قطعات را تا حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد گرم کرده و پس از نگهداری در این درجه حرارت در مدتی که بستگی به ضخامت و اندازه قطعه مربوط دارد آنرا در کوره سرد می کنند.

۳-۳-۶- برنج ها: آلیاژهای مس و روی تحت نام کلی برنج^۱ در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. برنج معمولی، حاوی ۳۰ درصد روی و ۷۰ درصد مس است که در ساخت قطعات ریختگی و همچنین تهیه قطعات کار شده نظیر ورق به کار می رود. برنج بر حسب درصد مقدار روی به سه دسته تقسیم میشود، برنج معمولی که حاوی ۲۵ تا ۳۰ درصد روی می باشد، برنج قرمز دارای روی کم تری بوده و عموماً مقدار مس آن از ۸۰ درصد بیشتر است. برنج زرد نیز معمولاً حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد روی دارد. انواع برنج های کارپذیر (نوردی) فقط حاوی مس و روی می باشند و عناصر دیگر در حد ناخالصی در آنها وجود دارد در حالیکه برنج های آلیاژی که علاوه بر مس و روی حاوی عناصر دیگری نظیر سیلیسیم، سرب، قلع و... هستند بیشتر از طریق ریخته گری شکل می گیرند.

برنج قلع دار: هرگاه آلیاژی از برنج حاوی حداکثر ۱ تا ۲ درصد قلع باشد، آنرا برنج قلع دار می نامند.

برنج های سرب دار: خارج از آنکه نسبت ترکیبی مس و روی در این آلیاژ به چه میزان است، معمولاً ۱ تا ۲۰ درصد سرب به آنها اضافه شده است. ترکیب شیمیایی برنج های سرب دار برحسب مورد از ۶۰ تا ۸۰ درصد مس، از ۱۰ تا ۳۸ درصد روی و ۱ تا ۴ درصد قلع و بقیه سرب تشکیل شده است. سرب قابلیت ماشین کاری را افزایش داده ولی قابلیت تغییر

۱- Brass

شکل گرم را کاهش می دهد.

برنج های سیلیسیم دار: این آلیاژها عموماً حاوی ۱ تا ۳ درصد سیلیسیم می باشند. انواع برنج های معمولی و برنج های آلیاژی در ساخت شیرها، اتصالات، پرچ، مخزن رادیاتورها، فیوز، لوازم لوله کشی، مهره ها و پیچ ها مورد مصرف دارند، درحالیکه نوع نوردی آنها نیز بصورت ورق، لوله و... در ساخت تانک و مخازن، سماور، رادیاتور و... بکار می روند.

برنج ها و بخصوص برنج های (کارپذیر) نوردی پس از تغییر شکل سرد، دارای تنش های داخلی بسیار می باشند که حد خستگی^۱ آلیاژ را کاهش داده و عموماً پس از مدت محدودی ترک برداشته و شکسته می شوند. عملیات حرارتی روی آلیاژهای برنج به منظور حذف تنش های داخلی انجام می گیرد. در این حال برنج را تا درجه حرارت ۶۵۰-۵۹۰ درجه سانتیگراد گرم کرده و سپس تحت سرعت معین سرد می کنند. در عمل می توان عملیات حرارتی برای حذف تنش و شکستگی را در حرارت ۲۵۵-۴۲۵ درجه سانتیگراد نیز انجام داد، در این حال مدت نگهداری قطعه در درجه حرارت فوق افزایش می یابد.

۴-۳-۶- مفرغ: اصطلاح مفرغ یا برنز برای آلیاژهای مس و قلع به کار می رود، در بعضی از کتابها اصطلاح برنز را به کلیه آلیاژهای مس و سایر عناصر به جز روی تعمیم داده اند، ولی با توجه به آنکه درهر یک از آنها نام عنصر آلیاژی نیز به کاربرده می شود، صحیح تر این است که کلمه مفرغ یا برنز بصورت ساده برای آلیاژهای مس و قلع بکار برده شود و آلیاژهای مس-آلومینیم یا مس-سیلیسیم را تحت نام بین المللی آلومینیم برنز یا سیلیسیم برنز شناسایی کرد.

برنزهای معمولی و تجارتي حدود ۹ تا ۱۲ درصد قلع دارند. با توجه به قیمت گران قلع، موارد مصرف برنزهای قلع دار به تدریج کم شده و در مقابل از آلومینیم برنرها که بسیار ارزان تر تهیه می شوند استفاده می کنند. قلع سختی آلیاژ و مقاومت به خوردگی آنرا افزایش می دهد. افزایش سرب به مقدار کم تر از ۵/۰ درصد قابلیت ماشین کاری برنرها را افزایش می دهد. برنز معمولی در ساخت انواع قطعات تزئینی، لوستر، گلدان و انواع میله، لوله، بوش و یتاقان به کار می رود.

۱- شکست قطعات در اثر اعمال نیروهای سیکلی

برنزهای چرخ دنده که به همین نام و یا به اختصار ر برنز دنده نامیده می شوند عموماً حاوی ۸ تا ۱۲ درصد قلع و حدود ۲ تا ۳ درصد روی می باشند. در بسیاری موارد به منظور افزایش استحکام برنزهای دنده، از نیکل به جای روی و یا همراه با روی به مقدار ۱/۵ تا ۲ درصد استفاده می کنند.

برنزهای سرب دار که عموماً حاوی ۴ تا ۲۰ درصد سرب هستند، در ساخت یاتاقانها موارد استفاده متعدد دارند، برنزهای پر سرب که حاوی بیش از ۱۵ درصد سرب هستند با ۵ تا ۱۵ درصد قلع و گاه همراه با ۴ تا ۶ درصد روی نیز در یاتاقان سازی مصرف می شوند. فسفر برنرها نیز آلیاژی از مس و قلع هستند که عموماً حدود کمتر از ۰/۵ درصد فسفر دارند و در ساخت چرخ دنده و موارد مشابه به کار می روند.

۵-۳-۶- آلومینیم برنز: آلیاژهای مس و آلومینیم تحت عنوان فوق عموماً حاوی ۷ تا ۱۱ درصد آلومینیم بوده و عناصر دیگری نظیر نیکل، آهن، سیلیسیم و در سال های اخیر کرم نیز به مقادیر ۱ تا ۴ درصد به آنها افزوده میشود. این آلیاژها از دو طریق نورد گرم و ریخته گری شکل می گیرند و عموماً عملیات حرا رتی پذیرمی باشند.

آلومینیم برنرها در مصارفی که مقاومت به خوردگی نیاز است نظیر پمپها، پره توربین، پروانه کشتی ها و... در ساخت ابزار و اتصالات پالایشگاهها، لوله کندانسر و... به کار میروند.

۶-۳-۶- آلیاژهای متفرقه: علاوه بر آلیاژهای فوق، آلیاژهای مس و نیکل تحت نام ورشو یا نقره آلمانی در صنایع متعدد و موارد مقاومت در مقابل خوردگی و صنایع خانگی بکار می روند، ورشوها معمولاً حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد نیکل داشته و مقدار روی آن ها نیز حدود ۸ تا ۲۰ درصد و قلع نیز در مقادیر حداکثر ۵ درصد در آن ها وجود دارند.

سیلیسیم برنرها نیز که عموماً حاوی ۶ تا ۶ درصد سیلیسیم هستند، قابلیت جوشکاری مناسبی داشته و در ساخت انواع و اقسام وسایل و قطعات یخچال، پوسته های مقاوم در مقابل اسیدها، کشتی سازی، چرخ آسیاب، دیگهای بخار، و پمپ ها بکار می روند. در جدول ۱-۶ دسته بندی و مشخصات کاربردی آلیاژهای مس درج شده است.

جدول ۱-۶- مشخصات عمومی آلیاژهای مس

گروه آلیاژی		حدود تقریبی و درصد ترکیب عناصر آلیاژی	کاربرد و مشخصات آن
مس		کمتر از ۲ درصد مجموع عناصر سیلیسیم، کرم، نقره، روی، آرسنیک و...	ریخته‌گری و نورد مصارف الکتریکی مصارف خانگی
برنج	معمولی	$Zn = 2-8$, $Sn < Zn$ $Pb < 0.5$	برنجهای نوردی و ریخته‌گری ورق، اتصالات، لوله و...
	سرب‌دار	$Zn = 2-8$, $Sn < Zn$ $Pb > 0.5$	
	معمولی	$Zn = 8-17$, $Sn < Zn$ $Pb < 0.5$	مصارف عمومی نورد و ریخته‌گری
	سرب‌دار	$Zn = 8-17$, $Sn < Zn$ $Pb > 0.5$	
	معمولی	$Zn > 20$, $Sn < 6$, $P < 0.5$	برنجهای معمولی ریخته‌گری و مصارف عمومی
	سرب‌دار	$Zn > 20$, $Sn < 6$, $Pb > 0.5$	
برنز	مقاوم	$Zn > 20$, $Sn < 6$, $Mn \geq 1$	برنج مقاوم
	برنج قلع	$Sn > 6$, $Zn > Sn$	در مصارف مکانیکی و تحمل نیرو
	معمولی	$Sn = 2-20$, $Zn < Sn$, $Pb < 0.5$	برنز معمولی، اتصالات، مهره پوش و...
	سرب‌دار	$Sn = 2-20$, $Zn < Sn$, $Pb > 0.5$	
	برسرب	$Sn = 2-20$, $Zn < Sn$, $Pb > Zn$	
	برنز سرب	$Pb = 30$, $Sn < 10$ $Zn < Sn$, $Sb < 0.5$	پاناقانهای مخصوص
	برنز سیلیسیم	$Si \geq 1$, $Zn < 3$	مصارف عمومی ریخته‌گری، برنج هم گفته می‌شود.
	برنز نیکل	$Ni > 10$, $Zn = 10$ $Ni > 10$, $Sn < 10$	مقاوم به خوردگی برنز نیکلی و رنگ زیبا برنج نیکلی
	آلومینیم برنز	$Al = 5-15$, $Fe < 10$ $Mn = Ni = 1-4$	برنزهای مقاوم و عملیات حرارتی پذیر

۴-۶- استاندارد طبقه بندی مس و آلیاژهای مس

مس و آلیاژهای آن برحسب سیستمهای مجازی که انجمن توسعه مس^۱ طراحی کرده است طبقه بندی می شوند. در این سیستم اعدادی از C ۱۰۰ تا C ۷۹۹ مشخص کننده آلیاژهای کار شده و اعدادی از C ۸۰۰ تا C ۹۹۹ مشخص کننده آلیاژهای ریختگی می باشد. این دو طبقه اصلی به گروهها و زیرگروههای مختلف تقسیم شده است:

آلیاژهای کار شده

C۱xx مس ها، و آلیاژهای با درصد زیاد مس

C۲xx آلیاژهای مس - روی (برنجها)

C۳xx آلیاژهای مس - روی - سرب (برنجهای دارای سرب)

C۴xx آلیاژهای مس - روی - قلع (برنجهای دارای قلع)

C۵xx آلیاژهای مس - قلع (برنزهای فسفر)

C۶xx آلیاژهای مس - آلومینیم (برنزهای آلومینیم)، آلیاژهای مس - سیلیسیم (برنزهای

سیلیسیم) و آلیاژهای مس - روی...

C۷xx مس - نیکل و آلیاژهای مس - نیکل - روی (نقره نیکل)

آلیاژهای ریختگی

C۸xx مس های ریختگی، آلیاژهای ریختگی با درصد زیاد مس، انواع برنجهای ریختگی،

آلیاژهای ریختگی برنز - منگنز، و آلیاژهای ریختگی

C۹xx آلیاژهای ریختگی مس - قلع - آلیاژهای مس - قلع - سرب، آلیاژهای مس

- قلع - نیکل، آلیاژهای مس - آلومینیم - آهن، و آلیاژهای مس - نیکل - آهن و مس

- نیکل - روی

در جدول ۲-۶ بطور مثال تعدادی از آلیاژهای کاربردی مس با موارد مصرف آنها آمده

است.

۱- C.D.A

جدول ۲-۶: آلیاژهای کاربردی مس

نام و شماره	درصد ترکیب	مشخصات ساخت و کاربردهای خاص
C۱۰۱ الکترونیک بدون اکسیژن	۹۹/۹۹Cu	کارپذیری سرد و گرم عالی، قابلیت آهنگری خوب، ساخت به وسیله سکه زنی، مسگری، کشش و پتک کاری افقی، آهنگری گرم و پرس، پیچش. کاربرد: محوره‌های اتوبوس، لوله‌های امواج الکتریکی و مغناطیسی، لوله‌های مسی، قسمت‌های انتهایی لوله‌های خلاء، ظروف خلاء، قطعات ترانزیستور، آب بندی شیشه به فلز، کابلها و لوله‌های دوجداره، اسباب تقطیر
C۱۰۲ مس بدون اکسیژن	۹۹/۹۵Cu	مانند آلیاژ مس ۱۰۱
C۱۰۳ بدون اکسیژن فسفر خیلی کم	۹۹/۹۵Cu ۰/۰۰۳P	کاربرد: محوره‌های اتوبوس، هادیهای الکتریکی، و کاربردهایی که مستلزم هدایت و خواص جوشکاری و لحیم کاری خوب می باشد.
C۱۰۴، C۱۰۵، C۱۰۷ مس نقره دار بدون اکسیژن		کاربردها: واشرهای اتومبیل، رادیاتورها، محوره‌های اتومبیل، سیمهای هادی، اتصالات، قسمت‌های رادیو، لوله‌های مارپیچی، سویچها، ترمینالها، تجهیزات فرایندهای شیمیایی، ورقهای چاپ، روکش فلزی، ورقهای مدار چاپی

<p>C۲۱۰ برنج طلایی ۹۵٪</p>	<p>۹۵ Cu ۵ Zn</p>	<p>برنجهای غیرآلیاژی، قابلیت کار سرد عالی، قابلیت کارگرم خوب برای پولک زنی، لوله کاری، کشش، سوراخ کردن، پانچ کردن، برش، ریخته گری تحت فشار، استامپ کردن. کاربردها: لوله ها، مدالها، لباس ضدگلوله، فیوز، چاشنی، پلاک، پایه جواهری سازی در آب طلاکاری.</p>
<p>C۲۲۰ برنج تجاری ۹۰٪</p>	<p>۹۰ Cu ۱۰ Zn</p>	<p>مشخصات ساخت مثل آلیاژ مس ۲۱۰ به اضافه کله زنی و جا زدن،...، آهنگری و پرس گرم. کاربردها: برنز حک کاری شونده، کارهای شبکه، پرده سینما، پرده های محافظ، پوسته ماتیک، سخت افزار دریایی فشرده، میخ و پرچ.</p>
<p>C۲۲۶ برنج جواهر سازی ۸۷٪</p>	<p>۸۷/۵ ۱۲/۵ Zn</p>	<p>مشخصات ساخت مثل آلیاژ مس ۲۱۰ به اضافه دنده سازی غلتکی و در پوش کاربردها: گوشه ها، کانالها، زنجیرها، زینت آلات لباس ها،...، پایه برای آب طلا کاری</p>
<p>C۲۳۰ برنج قرمز ۸۵٪</p>	<p>۸۵/۰ Cu ۱۵/۰ Zn</p>	<p>کارپذیری سرد عالی، کارپذیری گرم خوب. کاربردها: محافظهای باران، هادیها، حفره های اتصال، بند ها، خاموش کننده های آتش، میردها و لوله های مبدل حرارت، میله های پلمب، بدنه ی رادیاتور.</p>

<p>کارپذیری سردعالی، مشخصات ساخت مثل آلیاژ مس ۲۳۰ بجز برای سکه زنی. کاربردها: بدنهٔ رادیاتور، و مخازن چراغ قوه، ته لامپ، چفت و بست، گیره ها، لوله و مفصل، مهمات، وسایل پلمب کردن، پینها و پرچها.</p>	<p>۷۰/۰ Cu ۳۰/۰ Zn</p>	<p>C۲۶۰ برنج فشنگ ۷۰٪</p>
<p>کارپذیری سردعالی، مشخصات ساخت مثل آلیاژ مس ۲۳۰ کاربردها: مثل آلیاژ مس ۲۶۰ جز اینکه در مورد مهمات به کار نمی رود.</p>	<p>۶۵/۰ Cu ۳۵/۰ Zn</p>	<p>C۲۶۸ یا C۲۷۰ برنج زرد</p>
<p>کارپذیری گرم و آهنگری عالی برای پولک زنی، شکل دادن و خم شدن، آهنگری گرم و پرس، کله زنی و جازدن گرم کاربردها: معماری، پیچ و مهره های بزرگ، میله لحیم کاری، صفحات مبرد، لوله های مبدل حرارتی، آهنگری گرم.</p>	<p>۶۰/۰ Cu ۴۰/۰ Zn</p>	<p>C۲۸۰ برنج زرد</p>
<p>قابلیت کار سرد عالی، قابلیت شکل پذیری گرم خوب، ساخته شده به وسیله پولک زنی، خم شدن، کله زنی و جازدن، برش. کاربردها: اتصالات الکتریکی، سخت افزار خطوط الکتریکی.</p>	<p>۹۸/۷۵ Cu ۱/۲۵ Sn کمی P</p>	<p>C۵۰۵ فسفر برنز</p>

<p>C۵۱۰ فسفر برنز</p>	<p>۹۵/۰ Cu ۵/۰ Sn P کمی</p>	<p>کارپذیری سردعالی، ساخته شده به وسیلهٔ پولک زنی، خم شدن، دنده سازی غلتکی و برش، استامپ. کاربردها: دم آهنگری، نیزه، باتون، دیسکهای اتصال، میخ پرچ - دیافراگم، اتصالات، واشرهای اتصال، سیم برس، سخت افزار شیمیایی، ماشینهای نسا جی، الکترودهای جوشکاری.</p>
<p>C۵۱۱</p>	<p>۹۵/۶ Cu ۴/۲ Sn ۰/۲ P</p>	<p>کار سردپذیری عالی. کاربردها: صفحات پل، فیوز، دوشاخه برق، فنر، قطعات کلید برق، سیم بسته بندی، سیم برس، سخت افزار شیمیایی، ورقهای دقیق، ماشین آلات نساجی، الکترودهای جوشکاری.</p>
<p>C۶۰۸ برنز آلومینیم</p>	<p>۹۵/۰ Cu ۵/۰ Al</p>	<p>قابلیت کار سرد خوب، قابلیت کار گرم متوسط کاربردها: لوله های مبدل گرما و بخار، لوله های تقطیر</p>
<p>C۶۱۰</p>	<p>۹۲/۰ Cu ۸/۰ Al</p>	<p>قابلیت کار پذیری سرد و گرم خوب کاربردها: پیچ و مهره، قسمت های پمپ، محوره های میله های اتصال، روکش فولاد برای سطح تحت سایش.</p>

<p>قابلیت کارگرم و سرد خوب، ساخت به روش شکل دادن و خمش، جوشکاری</p> <p>کاربردها: میردها، صفحات مبرد، لوله های تقطیر، لوله های مبدل گرما و بخار، لوله های آب شور، بست فلزی</p>	<p>$^{88}_{29}\text{Cu}$</p> <p>$^{56}_{26}\text{Fe}$</p> <p>$^{58}_{28}\text{Ni}$</p>	<p>c۷۰۶</p> <p>مس-نیکل ۱۰٪</p>
<p>قابلیت کار سرد و گرم، ساخت به روش پولک زنی، شکل دادن و خمش، جوشکاری</p> <p>کاربردها: میردها، تقویت کننده های ارتباطی، فنر های الکتریکی، لوله های مبدل گرما و بخار، بست فلزی، مقاومتها.</p>	<p>$^{63}_{29}\text{Cu}$</p> <p>$^{64}_{28}\text{Ni}$</p>	<p>c۷۱۰</p> <p>مس-نیکل ۲۰٪</p>

- ۱- خواص مس را نام ببرید. (حداقل چهار مورد)
- ۲- کانی های معروف مس را همراه با ترکیب شیمیایی آنها بنویسید.
- ۳- آلیاژهای مس به چند دسته تقسیم می شوند نام ببرید.
- ۴- خواص ریخته گری مس خالص تجاری چگونه است.
- ۵- روش های تولید و موارد مصرف مس الکترولیز شده را توضیح دهید.
- ۶- آلیاژهای برنج بر حسب درصد روی به چند دسته تقسیم می شود. توضیح دهید.
- ۷- موارد استفاده آلیاژهای برنج را بنویسید.
- ۸- قلع کدام یک از خواص آلیاژ برنز را افزایش می دهد.
- ۹- کدام یک از آلیاژهای مس در کاربردهای مقاومت به خوردگی به کار می رود.
- ۱۰- کدام یک از آلیاژهای مس قابلیت جوشکاری مناسب دارند. موارد کاربرد آن را بنویسید.

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 و آلیاژهای 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 و آلیاژهای 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 (جدول ۱-۷). که این گروه بندی قراردادی است و یک فلز ممکن است در دو گروه قرار گیرد، به عنوان مثال تیتانیوم 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، سربیم، باریم	نقطه ذوب بالاتر و واکنش دهنده گی 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 $8/91$ گرم بر سانتیمترمکعب که نقطه ذوب آن برابر 1455 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. متأسفانه 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 ارزاتر دیگری در دسترس نباشد که 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 کاربرد آن 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 7 تا 9 درصد است و تا 20 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 فرو کرم 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: 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، تیتانیوم، آلومینیوم، مولیبدن، کبالت، نایوبیم، زیرکونیوم، 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^۱، نيمونیک^۲، رن^۳، يوديمت^۴ و واسپالوی^۵ می شود. اگرچه ترکیبات سوپر آلیاژها تا حدی تغییر می کند اما معمولاً در محدوده مشخص شده در جدول زیر قرار می گیرند:

جدول ۷-۲- ترکیبات سوپر آلیاژها

عناصر آلیاژی	مقدار (%)	عملکرد
کرم	۱۵-۲۰	بهبود مقاومت اکسیداسیون، تشکیل کاربید و افزایش استحکام
کبالت	۱-۲۰	تشکیل رسوب، افزایش استحکام
مولیبدن، تانتالم، تنگستن، رنیم	۰-۱۰	افزایش استحکام
آلومینیم	۰/۸-۶	تشکیل رسوب، افزایش استحکام
تیتانیوم، نایوبیم	۲-۵	تشکیل رسوب، افزایش استحکام
کربن	۰/۲-۰/۴	تشکیل کاربید و رسوب
بر	۰/۰۳-۰/۰۶	افزایش استحکام
زیرکنیم، هافنیم	۰/۰۲-۲	افزایش استحکام
اکسید ایتريم	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 ۷-۱ کاربردهای نیکل را نشان می دهد.

۱- Incoloy

۲- Nimonic

۳- Rene

۴- Udimet

۵- Waspaloy



ب



الف

شکل ۱-۷- 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^۱، 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.



ب



الف

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. برنجهای (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-آنتیمون می باشد. در جدول ۳-۷ مشخصات بعضی آلیاژهای روی آورده شده است.

جدول ۳-۷- مشخصات آلیاژهای روی

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

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 ثقیلی (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 و عمر 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 مواجه هستند اما چگالی آنها کمتر و استحکامشان بالاتر است.



شکل ۳-۷- قطعات ریخته گری تحت فشار روی

آلیاژهای کاربردی 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-تیتانیوم محکم تر و دارای

مقاومت در برابر خوردگی بیشتر از روی خالص هستند. آلیاژ روی تیتانیوم (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 می‌رود. اکسید روی در لاستیک‌سازی، سرامیک‌ها، کاتالیست‌ها، پمادهای ضد آفتاب، تولید کاغذ و اصلاح‌کننده‌های خاک کشاورزی استفاده می‌شود. دیگر ترکیبات روی در لامپ تصویر تلویزیون، سرباره‌سازی متالورژی، محافظت خوردگی، در الکترولیت آبکاری روی و ... به کار می‌روند.

۳-۷- سرب

تاریخچه: سرب فلزی است با چگالی ۱۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن ۳۲۷ درجه سانتی‌گراد است. سرب برای بیش از ۵۰۰۰ سال مورد استفاده بشر بوده است. سرب دارای توزیع فراوان و مناسب، ارزان، مقاوم به خوردگی و چکش‌خوار است. آلیاژهای سرب استحکام کافی برای تحمل بارهای متوسط را دارند. بیش از ۲۰۰۰ سال قبل در امپراطوری روم، از لوله‌های سربی برای انتقال آب، از ورقه‌ها و قطعات سرب برای تزئینات و ساختمان‌ها استفاده می‌کردند. در طول قرن‌ها کاربردهای جدید سرب شامل لحیم‌کاری، پوشش بام، بتونه شیشه‌های ساختمان، یاتاقان‌ها و ناودانی توسعه یافته است. در میانه قرن بیستم، سرب کاربردهای گسترده‌ای از جمله باتری‌ها، رنگ‌ها، سرامیک‌ها، ترکیبات ضد انفجار در بنزین، لحیم‌ها، ورق‌ها و مهمات داشت. اگر چه اخیراً با توجه به سمی بودن سرب، کاربرد آن با محدودیت مواجه شده است؛ اما درخواست روز افزون برای باتری‌های اسید-سرب، کاهش استفاده از سرب در بخش‌های دیگر را جبران می‌کند. تغییرات اخیر در مصرف سرب، آن را بیشتر به صورت یک عنصر با یک کاربرد مطرح می‌سازد؛ زیرا بیش از ۸۰٪ سرب‌های تولیدی در باتری‌ها مصرف می‌شوند (شکل ۴-۷). تولید جهانی سرب کمتر از ۳ میلیون تن در سال است و به همین میزان سرب مصرفی در باتری‌ها بازیافت می‌شود.

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، تیتانیوم 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^۱) 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 (شکل ۵-۷).

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^۲ نامیده می شود) تقریباً محتوی ۷٪ تا ۷۰٪ قلع با ۳٪ تا ۵٪ 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).



ب



الف

شکل ۵-۷- (الف) ورق قلع اندود (فولاد میارکه اصفهان) (ب) محصولات نهایی ورق قلع اندود دارای کاربرد های زیادی است و غالباً در صنایع بسته بندی مواد غذایی ، 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 .



شکل ۶-۷- 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 $13/6$ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن $36-^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد است. فلز جیوه اولین بار در 2500 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 1500 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 تیتانیوم 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 $1/9$ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن 1280°C درجه سانتی گراد می باشد. فلز بریلیم در سال 1828 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 و تا 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. متأسفانه 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 فنی 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 ریخته گری منیزیم تولید میشوند.

عناصر آلیاژی اضافه شده به منیزیم شامل آلومینیم، نقره، کادمیم، گالیم، لیتیم، سرب، فلزات قلیایی خاکی، ایتیم، روی، زیرکنیم و ... میباشد که در جدول قبل به آنها اشاره شد. به جز آلومینیم و روی بقیه عناصر رسمی 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.

مگنیز 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 (650°) 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 700° 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 AZ91 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 AM60 (۶٪ آلومینیم و ۰/۱۵٪ منگنز) چکش خواری بهتری از AZ91 دارند اما 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 زیرکینیم 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 کار شده 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 کار شده است. در نتیجه کاربرد محصولات کار شده 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 زیرا کاربرد آنها به عنوان فلز ساختمانی از سال ۱۹۵۲ شروع شد. آلیاژهای تیتانیم جاذبه 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^۱ ضریب انعکاس بالاتر از الماس دارد و به عنوان رنگدانه سفید در رنگ ها و پلاستیک ها استفاده می شود. تقاضای بسیار

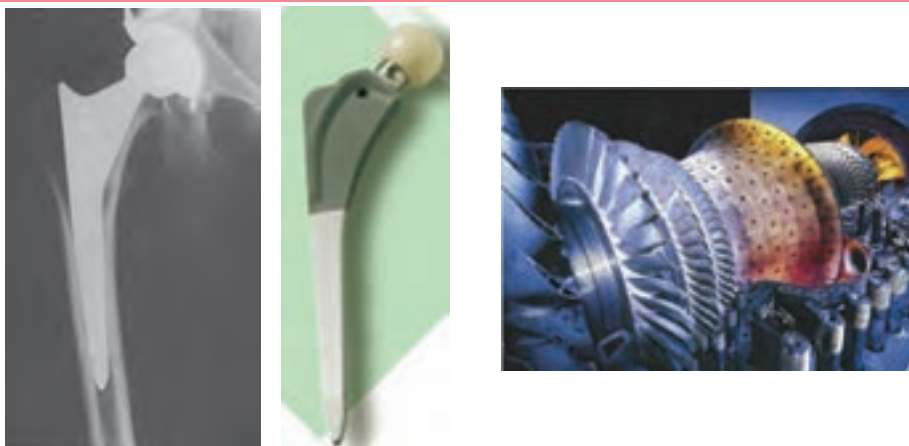
۱- TiO_۲

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 از آلیاژهای کارآمد در صنایع شیمیایی و غذایی مطرح می سازد.

کاربردهای تیتانیوم: در هواپیماهای نظامی و مسافبری، 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 و در فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا، خواص مکانیکی را بهبود می بخشد.

۱- Implant



شکل ۷-۷- کاربرد تیتانیوم و آلیاژهای آن

فلزات دیرگداز:

این گروه از فلزات در برگیرنده ی تنگستن، مولیبدن، نایوبیم، تانتالم، تیتانیوم، زیرکونیوم، 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.

۷-۹- وانادیم

تاریخچه: در اواخر قرن نوزدهم کشف شد که با افزودن 0.05% تا 0.2% 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، آلیاژها 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 $10/3$ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن 2600 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 2000 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؛ متأسفانه در دماهای بالای 600 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 التهایبی، 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 بالا هستند، 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 التهایبی در ۱۹۰۳، سیم تنگستن چکش خوار در ۱۹۰۹ و سرمت^۱ کاربرد تنگستن - کبالت برای کاربرد برش و سایش در ۱۹۲۲ ایجاد شدند.

- خواص: تنگستن دارای خواص استثنایی است: بالاترین نقطه ذوب در بین همه فلزات ۳۳۷۰ 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. (Cermets=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: ۵/۰ 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، الکتروود 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^۱ 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 ۰/۱ 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 و ترکیبات 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 تیتانیوم 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 در آجرهای 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. کاربردهای آن در کاتالیست، جواهرات، شیشه سازی و صنایع الکترونیک است.

پلاتین از جمله چگال ترین فلزات است. چگالی آن $21/5$ گرم بر سانتی متر مکعب و نقطه ذوب آن 1770 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 1100 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 کاشنی در بدن و لوازم جراحی، پوشش پره توربین و تجهیزات دقیق فلزی است.

۱۵-۷- طلا

طلا فلزی است با چگالی $19/2$ گرم بر سانتی متر مکعب که نقطه ذوب آن 1063 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^۱ 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/ی برای انعکاس کامل نور شده است. قبل از استفاده گسترده آلومینیم، نقره ماده منتخب برای تلسکوپ، چراغ دریایی و آینه ها بود. برخلاف فلزات فعالی مثل آلومینیم و تیتانیوم 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)

- 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 خصوصیتی 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.

خوردگی و روش های جلوگیری از آن

هدف های رفتاری: در پایان فصل از هنرجو انتظار می رود که:

- ۱- پدیده خوردگی را تعریف کند.
- ۲- محیط های خورنده را معرفی کند.
- ۳- خوردگی شیمیایی را شرح دهد.
- ۳- خوردگی الکتروشیمیایی را شرح دهد.
- ۵- خسارات ناشی از خوردگی را توضیح دهد.
- ۶- روشهای محافظت در مقابل خوردگی را نام برد.
- ۷- انواع روشهای پوشش دادن فلزات را شرح دهد.

مقدمه

تخریبی که در سطح قطعات (فلزی و یا غیرفلزی) در اثر تأثیر عوامل شیمیایی و یا الکتروشیمیایی پدید می آید خوردگی نام دارد. میزان خوردگی تا حد زیادی به محیطی که قطعه در آن قرار دارد بستگی دارد. علاوه بر آن درجه خلوص فلز، ساختمان ملکولی، نوع کیفیت سطح نیز در میزان خوردگی مؤثرند.

امروزه در صنعت به دلیل خسارات و صرف هزینه زیادی که خوردگی تحمیل می کند نهایت سعی در ابداع و بکار بردن روشهایی است که از آن جلوگیری کند و یا میزان آن را در حد قابل قبولی نگهدارد.

۸-۱- انواع خوردگی فلزات

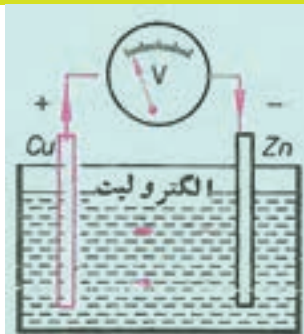
۸-۱-۱- خوردگی شیمیایی: سطح اکثر فلزات در اثر تأثیر عوامل شیمیایی تغییر می یابد. در این فعل و انفعالات وجود اکسیژن و در نتیجه اکسیداسیون نقش مهمی را

بازی می کند. و از آن گذشته مایعات (رطوبت هوا، اسیدها، بازها و محلول نمک ها)، گازها و بخارات نیز اثر شیمیایی روی فلزات پدید می آورد و باعث ایجاد خوردگی در سطح آنها می شود. لازم به تذکر است که افزایش درجه حرارت و فشار، سرعت خوردگی را افزایش می بخشد. اگر لایه اکسید ایجاد شده در سطح فلز متراکم، محکم و غیرقابل نفوذ باشد به صورت یک لایه محافظ عمل می کند و از پیشرفت عمل خوردگی جلوگیری می نماید و بقیه فلز را در مقابل خوردگی محافظت می کند، مانند لایه اکسیدی که بر روی قطعات مسی و یا آلومینیومی تشکیل می شود. برعکس، اگر خوردگی شیمیایی، لایه ای متخلخل و قابل نفوذ ایجاد کند مانع از پیشرفت خوردگی نمی شود و این عمل تا تخریب کامل قطعه فلزی ادامه پیدا می کند، مانند زنگ روی سطح فولاد. (به استثنای فولادهای زنگ نزن).

فلزات مقاوم در مقابل عوامل شیمیایی و الکتروشیمیایی را فلزات نجیب می نامند و از مقاوم ترین آنها می توان به ترتیب پلاتین، طلا و نقره را نام برد.

۸-۱-۲- خوردگی الکتروشیمیایی: اگر یک مایع حاوی یونهای مثبت و منفی (الکترولیت) مابین دو فلز غیرهمجنس متصل به هم با یک هادی الکتریسیته قرار گیرد باعث ایجاد خوردگی در یکی از آنها خواهد شد. الکترولیت ممکن است یکی از محلولهای اسیدی، بازی و یا نمک باشد. به عنوان مثال اسیدکربنیک (H_2CO_3) که از ترکیب آب باران و گاز دی اکسیدکربن تشکیل می شود و یا اسید سولفور (H_2SO_4) که مشابه اسیدکربنیک از ترکیب گاز SO_2 حاصل از سوخته های گوگرددار به وجود می آید، می تواند در خوردگی نقش بسزائی داشته باشد. آب موجود در طبیعت، رطوبت هوا و یا عرق بدن نیز می توانند همین نقش را داشته باشند.

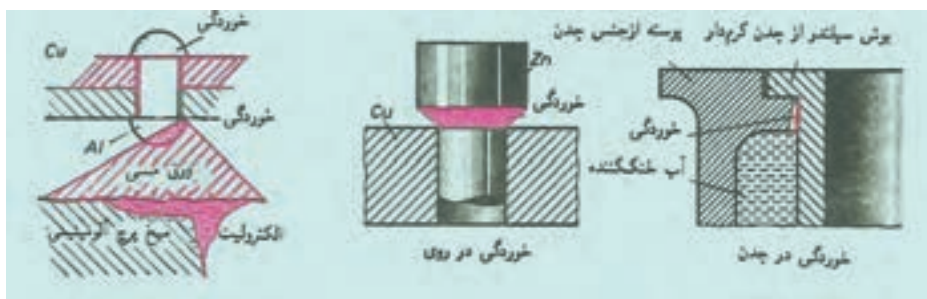
وجود دو فلز غیرهمجنس متصل به هم با یک هادی جریان الکتریسیته (سیم مسی) در یک الکترولیت پیل الکتریکی ایجاد می کند که از طریق هادی الکتریسیته الکترونهای آزاد از سمت فلزی که دارای الکترونهای آزاد بیشتری است (قطب منفی) به سمت فلز دیگری که دارای الکترونهای آزاد کمتری است (قطب مثبت) جریان می یابد و همین پدیده است که باعث ایجاد خوردگی الکتروشیمیایی در قطب منفی خواهد شد (شکل ۸-۱)



الکترو لیت: اسید
سولفوریک رقیق
Zn (-) خورده
می شود.

شکل ۸-۱

اگر دو فلز غیر همجنس بدون آنکه از یکدیگر بوسیله عایق جدا شده باشند در تماس با یک الکترو لیت قرار گیرند، در آنها خوردگی تماسی به وجود می آید. این نوع خوردگی در صنعت ممکن است در اتصالات به وسیله میخ پرچ، پیچ و مهره و یا لحیم کاری اتفاق افتد. برای جلوگیری از ایجاد خوردگی تماسی بایستی حتما محل تماس فلزات غیرهمجنس را با روشهای مختلفی مانند استفاده از رنگ، لاک، کتان، مقوا و غیره عایق کرد. همچنین باید از قرار دادن فلزات غیرهمجنس روی یکدیگر در انبارها نیز پرهیز کرد. شکل ۸-۲ خوردگی تماسی را نشان می دهد.



شکل ۸-۲

۸-۲- مقاومت مواد فلزی در مقابل خوردگی

مقاومت مواد فلزی در مقابل خوردگی بسیار متفاوت است که در زیر به شرح پرمصرف ترین این گونه مواد در صنعت پرداخته می شود:

- فولادهای غیر آلیاژی: این فولادها در مقابل خوردگی مقاومت کمی دارند، زیرا از کریستالهای متفاوتی تشکیل شده اند که مانند فلزات غیر همجنس با اختلاف پتانسیل الکتریکی زیاد متصل به هم می باشند بنابراین در آنها خوردگی سریعتر ایجاد می شود.

- فولادهای آلیاژی: کریستالهای این نوع فولادها دارای اختلاف پتانسیل الکتریکی کمی می باشند و به همین دلیل در مقابل خوردگی مقاومتر از فولادهای غیرآلیاژی هستند.

- فولادهای زنگ نزن: این فولادها را چنان آلیاژ می کنند که یا کریستالهای آنها کاملاً مشابه یکدیگر باشد و یا در جدول اختلاف پتانسیل الکتریکی فاصله کمی نسبت به یکدیگر داشته باشند و در نتیجه مقاومتشان در مقابل خوردگی افزایش یابد.

- چدن: به دلیل وجود کربن آزادی که به صورت گرافیت در چدن‌ها وجود دارد، خوردگی بین کریستالی آنها زیاد است. زیرا اگر کربن با سایر کریستالهای موجود در چدن در یک مایع محرک قرار گیرند اختلاف پتانسیل زیادی را ایجاد می کنند.

سطوح قطعات چدنی ریخته گری شده به دلیل وجود کربن کمتر، در مقابل خوردگی مقاومتر از سطوحی هستند که روی آنها عملیات براده برداری انجام گرفته است.

- مس: مخصوصاً مس الکترولیت، به دلیل داشتن کریستالهای یکنواخت، در مقابل خوردگی بسیار مقاوم است و علاوه بر آن در مجاورت هوا قشر نازکی از اکسید و کربنات مس در روی آن تشکیل می شود که این قشر مابقی فلز را در مقابل خوردگی محافظت می کند.

- آلیاژهای مس و روی (برنج): این آلیاژها مقاومت کمتری نسبت به مس خالص در مقابل خوردگی دارند.

- آلومینیم خالص: سطح قطعات آلومینیمی در مجاورت هوا خیلی سریع با اکسیژن ترکیب شده و لایه ای از اکسید آلومینیم روی آنها به وجود می آید. این لایه مقاومت خوبی در مقابل خوردگی دارد و بقیه فلز را در مقابل خوردگی حفظ می کند.

- آلیاژهای آلومینیم: آلیاژهای آلومینیم به خصوص اگر مس به همراه داشته باشند، (مانند AlCuMg) مقاومت کمی در مقابل خوردگی دارند. ولی آنها که فاقد مس باشند

(مانند AlMgSi) به دلیل داشتن کریستالهایی که نسبت به هم اختلاف سطح الکتریکی کمی به وجود می آورند، مقاومتر از سایر آلیاژهایی هستند که مس به همراه دارند. سطوحی از فلزات، که کیفیت سطحشان بهتر است مخصوصاً آنهایی که پولیش شده اند، در مقابل خوردگی مقاومت بیشتری دارند.

۳-۸- محافظت فلزات در مقابل خوردگی

عمر و دوام قطعات فلزی، معمولاً بستگی به این دارد که تا چه اندازه از ایجاد خوردگی در آنها جلوگیری شود. تمام روشهایی که برای این منظور به کار برده می شوند این هدف را دنبال می کنند که از ایجاد خوردگی شیمیایی یا الکتروشیمیایی جلوگیری کنند. برای حفاظت از خوردگی (بر اساس نوع خوردگی) می توان از روشهای مختلفی استفاده کرد. معمولاً عامل اقتصادی مهمترین عامل تعیین کننده قابل توجه در انتخاب روش است. برای کنترل سرعت خوردگی و حفاظت از آن به نکات اساسی زیر باید همواره توجه شود:

۱- عوامل قابل پیش بینی در طراحی که می تواند در فعل و انفعالات خوردگی مؤثر باشد.

۲- انتخاب مواد مناسب در ساخت قطعات از لحاظ مقاومت خوردگی در شرایط خاص محیط کار.

۳- ایجاد تغییرات مناسب در محیط خورنده برای کاهش هرچه بیشتر اثر خوردگی آن.

۴- انتخاب پوششهای حفاظتی مناسب.

۱-۳-۸- عوامل طراحی

در هنگام طراحی به غیر از در نظر گرفتن خواص مکانیکی مورد لزوم باید به مسئله خوردگی نیز توجه شود و عوامل مؤثر برای به دست آوردن بهترین مقاومت در مقابل خوردگی رعایت شود.

در طراحی قطعه باید توجه شود که واکنش خوردگی تا حد امکان به طور یکنواخت

برروی تمامی سطح آن صورت گیرد. بنابراین طراحی هایی که تحت تهاجم موضعی شدید خوردگی قرار می گیرد و بدین ترتیب موجب تخریب زودرس قطعه می شود نامناسب است. مهمترین نکته قابل توجه در طراحی پرهیز از شکل گیری پیل‌های گالوانیکی، (تماس فلزات مختلف در حضور مایع خورنده) است. زیرا همچنان که قبلا بیان شد خوردگی، به ویژه در نزدیکی محل تماس دوفلز، به شدت انجام می گیرد.

۲-۳-۸- انتخاب مواد از نظر خواص

پایداری مواد فلزی در مقابل خوردگی می تواند با ازدیاد درجه خلوص افزایش یابد. اما استحکام فلزات خالص پایین است و در شرایط خاصی که فقط مقاومت خوردگی مورد نظر باشد از آنها استفاده می شود. برای مثال تانتال^۱ سالهاست که به عنوان فلز مقاوم در مقابل خوردگی شناخته شده و به کار می رود. این فلز در برابر اغلب اسیدها با هر غلظتی و حتی در درجه حرارت‌های بالا پایدار بوده و رفتاری شبیه به شیشه دارد. این فلز همچنین در مواردی که توقع برای مقاومت خوردگی بسیار بالاست، برای مثال برای قطعاتی که در داخل بدن استفاده می شود، به کار می رود. بهبود همزمان مقاومت مکانیکی و پایداری در مقابل خوردگی می تواند با افزودن عناصر آلیاژی مناسب صورت گیرد. برای مثال می توان از فولادهای مقاوم در مقابل خوردگی که اهمیت صنعتی خاصی یافته است، نام برد. عناصر زیادی می توانند مقاومت خوردگی آهن را بهبود بخشند. مقدار جزئی فسفر و مس مقاومت خوردگی فولادهای ساختمانی را در مقابل تأثیرات هوای محیط به ویژه هوای مرطوب افزایش می دهد. بدین صورت که در سطح فلز لایه ای مقاوم ایجاد می شود که متخلخل نبوده و با داشتن چسبندگی خوب بقیه فلز را از اکسید شدن محافظت می کند. سیلیسیم، مقاومت آلیاژهای ریخته گری شده آهن را در محیط‌های اسیدی بهبود می بخشد. افزودن ۱۰٪ آلومینیم مقاومت در مقابل اکسیداسیون در درجه حرارت‌های بالا را افزایش می دهد ولی از طرفی سبب ظاهر شدن رفتار ترد در فولاد می شود. کرم، مقاومت خوردگی فولاد را در مقابل تقریباً تمام محیط‌های خورنده افزایش می دهد. کرم به عنوان عنصر آلیاژی در

۱- آلیاژ تانتالوم-تنگستن

فولادهای آلیاژی جهت بهبود مقاومت خوردگی نقش مهمی را ایفا می کند. کرم و همچنین نیکل در مجاورت هوا و محیطهای اکسید کننده دیگر با ایجاد لایه اکسیدی غیرفعال به عنوان پوشش برای جلوگیری از خوردگی به کار می رود.

مواد غیرفلزی

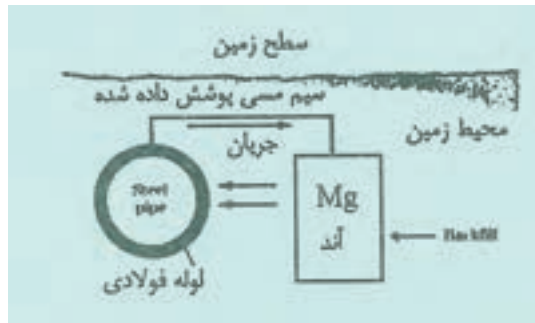
مواد سرامیکی دارای مقاومت خوردگی بسیار عالی و پایداری خوب در مقابل اکسیداسیون در درجه حرارتهای بالا هستند، اما رفتار ترد و استحکام کششی پایین این مواد مانع کاربرد وسیع آنها می شود. مواد پلیمری مانند پلاستیکها و لاستیکها در مقایسه با فلزات و آلیاژهای آنها معمولاً دارای مقاومت کمتری در مقابل خوردگی هستند، زیرا گازها می توانند در آنها نفوذ کرده و با تولید ترکیباتی در زنجیرهای مولکولی آنها موجب تبدیل پلیمرهای سنگین آنها به مولکولهای کوچکتر و کاهش مقاومت آنها شوند.

۳-۳-۸- ایجاد تغییرات مناسب در محیط خورنده

روش دیگری که برای کاهش سرعت واکنش خوردگی به کار می رود ایجاد تغییرات مناسب در محیط خورنده است. با توجه به اینکه سرعت خوردگی بستگی زیادی به درجه حرارت دارد، باید تا حد امکان درجه حرارت محیط خورنده را پایین نگهداشت. همچنین به دلیل اینکه سرعت خوردگی در محیطهای خورنده جاری، به سرعت جریان محیط خورنده بستگی دارد، باید با ایجاد تغییرات مناسب در طراحی و یا شرایط کاری، سرعت جریان محیط را تا حد امکان کاهش داد.

روش دیگر برای حفاظت از خوردگی، استفاده از سیستمهای حفاظتی کاتدی یا آندی است. در این روش قطعه مورد نظر، مانند لوله آب زیرزمینی، با آندی در همان محیط اتصال داده می شود. آند به کار برده شده می تواند از فلزی که قابلیت انجام واکنش دارد مانند روی یا منیزیم باشد شکل ۳-۸. البته روی خورده می شود و بدین جهت باید هرچند وقت یکبار تعویض شود. همچنین می توان از گرافیت که به ندرت تحت واکنش خوردگی قرار می گیرد، به عنوان آند استفاده کرد. پتانسیل لازم برای تأخیر حفاظتی در حالت دوم را باید از

یک باتری مناسب تأمین کرد.



شکل ۳-۸: مکانیزم جلوگیری از خوردگی لوله آب فولادی زیر زمینی با استفاده از منیزیم به عنوان آند

۴-۳-۸- پوشش دادن

در بسیاری از موارد کاربرد آلیاژهای گران قیمت مقاوم در مقابل خوردگی عمل چندان صحیحی نیست، بلکه از لحاظ اقتصادی استفاده از فولادهای کم کربن ساده به دلیل قیمت پایین و قابلیت تغییر شکل آسان ارجحیت دارد در این گونه موارد توصیه می شود که سطح قطعات فولادی با استفاده از پوششهای سطحی در مقابل خوردگی محافظت شود.

کاربرد پوششها معمولاً به منظور اهداف گوناگونی از قبیل افزایش سختی، مقاومت سایشی، مقاومت خوردگی، قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی، تزئینی (از لحاظ قابلیت انعکاس نور و رنگ) است. در انتخاب ماده پوشش علاوه بر توجه به خواص مورد نظر در ارتباط با کاربرد آن باید عوامل اقتصادی هم مورد توجه قرار گیرد. مهمترین روشهای پوشش دادن به قرار زیر است.

۱- پوششهای غیرفلزی: پوشش های غیرفلزی از تماس سطحی قطعات با موادی که

می توانند روی آنها تاثیر بگذارند جلوگیری می کنند. این پوششها عبارتند از:

الف- مواد محافظ روغنی: قطعاتی که از فولادهای گوناگون ساخته شده اند باید به دلیل

مورد استفاده ای که دارند، سطح براقی باید داشته باشند (مانند وسایل اندازه گیری، سطوح اصطکاکی، پیچها و پین ها). این گونه قطعات را می توان به وسیله روغن کاری، در مقابل

اکسیده شدن محافظت کرد. این روش فقط زمانی مورد استفاده دارد که مدت کمی برای محافظت قطعه، مورد نظر باشد.

روغنی که برای این منظور به کار می رود باید اسید نداشته باشد و روی فلز تأثیر شیمیایی بر جای نگذارد. برای این منظور معمولاً از روغن‌ها و یا گریسهای معدنی و در بعضی موارد از موم یا بیتومن‌ها (نوعی قیر) استفاده می کنند.

برای جلوگیری از خوردگی فلزات سبک به هنگام انبار کردن، باید سطح آنها به کمک لایه ای از روغن پوشش داده شود. قبل از اعمال پوشش روغن باید سطح قطعات را از رنگ و پوسته و سایر آلودگی ها کاملاً تمیز کرد.

ب- رنگ کاری: منظور از رنگ زدن عبارت است از اعمال لایه ای یکنواخت از رنگ بر روی قطعه ای که قبلاً به وسیله آستری مناسبی آماده شده باشد. موادی که برای این منظور به کار می روند معمولاً عبارتند از: رنگهای روغنی، رنگهای لاک، رنگهای صمغ مصنوعی. وظیفه اصلی رنگ حفاظت سطح قطعه کار در مقابل تأثیرات شیمیایی یا الکتروشیمیایی است. در هنگام استفاده از رنگهای روغنی، ایجاد یک لایه محافظ در مقابل زنگ زدن مورد نظر است و برای این منظور معمولاً از محلول سرنج (Pb_3O_4) در روغن کتان استفاده می کنند.

ج- پوششهای پلاستیکی: پوشش های پلاستیکی علاوه بر محافظت در مقابل خوردگی، عایق الکتریسیته نیز هستند و در مقایسه با رنگ کاری، لایه ضخیم تری را پدید می آورند. برای محافظت در مقابل خوردگی ورقها، لوله ها و مخازن، از پوشش قیر نیز ممکن است استفاده شود. برای اعمال مواد پلیمری بر روی فلزات ممکن است از روشهایی مانند پختن روی سطح قطعه کار، پاشیدن شعله ای و یا روش الکترواستاتیکی استفاده کرد.

روش پخت روی قطعه کار به این ترتیب است که پودرهای بسیار نرمی از مواد پلیمری مورد نظر را تهیه می کنند و آن را در مخزنی که داخل آن ازت و یا هوای فشرده جریان دارد، قرار می دهند. در این حال این پودرها مشابه مایع عمل می کنند و چنانچه قطعات فلزی که قبلاً به اندازه ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی گراد گرم شده باشد داخل آن قرار گیرند

لایه نازکی از پودر مواد پلیمری بر روی قطعه گرم شده قرار می گیرد و پس از پخته شدن و سرد شدن لایه محافظی را تشکیل دهد.

در روش پاشیدن شعله ای، از پیستوله مخصوصی استفاده می شود که ضمن پاشیدن پودر مواد پلیمری بر روی قطعه کار آن را به وسیله شعله گرم می کند تا بتواند لایه ای از مواد پلیمری را روی سطح قطعه کار قرار دهد. در این حال باید قبل از پاشیدن مواد پلیمری سطح قطعه کار را کاملاً از مواد چربی پاک و آن را کمی زیر نمایند. لایه ای که با این روش روی سطح قطعه کار به وجود می آید معمولاً از نیم تا یک میلیمتر است. مواد پلیمری که برای این منظور می توانند مورد استفاده قرار گیرند موادی هستند که قابلیت پودر شدن را داشته و پس از رسیدن به نقطه ذوب، رقیق نگردند. با توجه به تعریف فوق می توان از پلی آمیدها، پلی اتیلن، اکریل گلاس، پلی تترافلوراتیلن برای این منظور استفاده کرد.

از روشهای دیگری که برای این منظور مورد استفاده قرار می گیرند می توان پوشش دادن فلزات با ورقهای نازکی از مواد پلیمری مانند پلی وینیل کلراید^۱ و یا اعمال پلی آمید را به کمک غلتک نام برد.

د- لعاب دادن: ماده لعاب از پودر شیشه (کوارتز، فلدسپات، خاک رس) و مواد رنگین تشکیل شده است. این ماده را می توان بوسیله پاشیدن، روی سطح قطعه مورد نظر و یا غوطه ور کردن قطعه در داخل آن، بر روی سطح مورد نظر اعمال نمود و پس از حرارت دادن از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد لایه شفاف سختی را ایجاد کرد. این ماده علاوه بر مقاوم بودن در مقابل حرارت، در مقابل عوامل شیمیایی نیز مقاومت دارد ولی شکننده است. برای ایجاد یک سطح لعاب داده خوب، بایستی حتی الامکان ماده لعاب را رقیق تهیه کرد. از این روش برای پوشش دادن ظروف خانگی و تجهیزات مورد استفاده در صنایع شیمیایی که از فولاد یا چدن ساخته شده باشند استفاده می شود.

ه- پوشش دادن فولاد با روش شیمیایی: مهمترین روشهای پوشش دادن فولاد به روش شیمیایی، سیاه کردن و فسفات کردن می باشد. برای سیاه کردن قطعات، ابتدا سطح آنها را به روغن دانه کتان آغشته می کنند و سپس قطعه را روی شعله کوره آهنگری نگه می دارند.

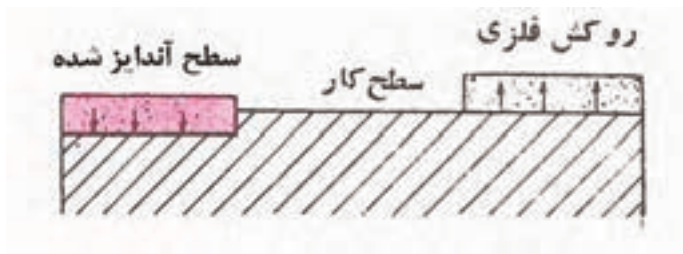
۱- PVC

این عمل را می توان با روغنهای معدنی نیز پس از افزودن ۳ تا ۵ درصد موم باین ترتیب انجام داد که پس از آغشته کردن قطعه مورد نظر آن را تا ۴۵۰ درجه سانتی گراد حرارت داد. در هر یک از حالات فوق می توان سطح قطعه فولادی را بوسیله لایه سیاه رنگ نازکی که روی آن تشکیل می شود محافظت کرد ولی این روش دوام زیادی ندارد.

با ایجاد لایه نازکی از فسفات آهن نیز می توان قشر محافظی روی قطعات فولادی به وجود آورد که این روش را فسفات کردن می نامند. ضخامت لایه ایجاد شده در این حالت بستگی به روش مورد استفاده دارد و ممکن است که از ۰/۲ تا ۲۰ میکرون متر باشد. در این روش نیز بایستی قبل از فسفات کردن، سطح قطعات را از رنگ و چربی ها پاک کرد.

برای فسفات کردن، قطعه مورد نظر را پس از تمیز کردن در محلول آب با فسفات منگنز و یا محلول آب با فسفات روی، در حدود ۳۰ تا ۶۰ دقیقه شستشو داده و یا غوطه ور می کنند. در این حال بر روی سطح قطعه کار لایه محافظی از فسفات که دارای مقدار کمی تخلخل است، تشکیل می شود. این روش چسبندگی رنگ در فولاد را افزایش می دهد و خطر زنگ زدن در زیر لایه رنگ را کاهش می دهد.

و- پوشش دادن فلزات سبک با روش شیمیایی: در این روش بیشتر ایجاد یک لایه محافظ بر روی قطعاتی مورد نظر است که جنس آنها از آلومینیم و یا آلیاژهای آن باشد. برای این منظور قطعه مورد نظر را به قطب مثبت (آند) یک دستگاه الکترولیز متصل نموده و از یک صفحه سربی بعنوان قطب منفی (کاتد) در ظرفی که داخل آن محلول اسید سولفوریک بعنوان الکترولیت قرار دارد، استفاده می شود. حال اگر برای مدتی قطب ها را به برق جریان مستقیم متصل کنیم در اثر عبور جریان از داخل ظرف در اطراف آند، اکسیژن جمع می شود و روی سطح آلومینیم لایه اکسید شده ای را تشکیل می دهد که به این روش را اکسید کردن آندیک (آندایزینگ) می نامند. ضخامت لایه اکسید ایجاد شده در سطح قطعه کار باندازه ۵ تا ۲۵ میکرون متر است و در حدود $\frac{2}{3}$ ضخامت آن در داخل قطعه کار قرار دارد. این لایه سختی زیادی دارد و در مقابل تأثیر مواد شیمیایی مقاومت خوبی داشته و جریان برق را از خود عبور نمی دهد (شکل ۴-۸).

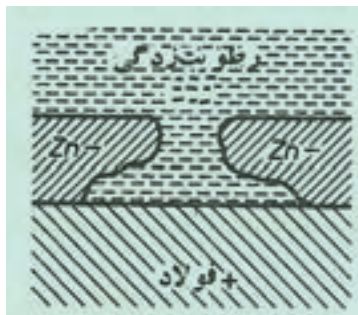


شکل ۴-۸

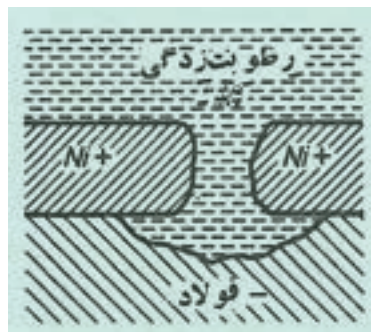
مقاومت پوشش محافظی را که به این ترتیب تهیه می شود را می توان با اعمال لایه ای از چربی و یا پارافین افزایش داد. به دلیل تخلخل کمی که لایه آندایز شده دارد می توان بر روی آن به خوبی رنگ اعمال نمود.

۲- پوشش های فلزی: با توجه به اینکه در اثر آسیب و یا ایجاد زدگی در پوشش های فلزی، امکان تشکیل پیل در مجاورت رطوبت و یا یک الکترولیت دیگر وجود دارد، این عمل باعث خوردگی الکتروشیمیایی در پوشش و یا قطعه اصلی می گردد. بنابراین ضروری است جنس پوشش را با توجه به جدول اختلاف سطح الکتریکی فلزات به نحوی انتخاب کرد که همواره خوردگی در پوشش ایجاد شود و از تخریب قطعه اصلی جلوگیری گردد. به عنوان مثال اگر از فلز روی بعنوان پوشش محافظ یک قطعه فولادی استفاده شده باشد، خوردگی در فلز پوشش اتفاق افتاده و خوردگی در فلز اصلی (فولاد) به تأخیر می افتد (شکل ۵-۸). ولی چنانچه از نیکل برای پوشش فولاد استفاده شود (شکل ۶-۸) در شرایط فوق به دلیل اینکه نیکل در جدول اختلاف سطح الکتریکی در محل بالاتری نسبت به فولاد قرار دارد، خوردگی از فلز اصلی یعنی فولاد شروع می شود. به همین دلیل ممکن است که در حالت اخیر قبل از مشاهده آسیب وارده به پوشش، فولاد تخریب شود و از بین برود. بنابراین در اینگونه موارد باید حتماً از یک فلز واسطه ای استفاده شود که همیشه جنس فلز پوشش نسبت به جنس لایه زیرین در رده پایین تری در جدول قرار داشته باشد و در نتیجه پیشرفت خوردگی در قطعه اصلی به تأخیر افتد. مثلاً می توان در صورتی که استفاده از نیکل به عنوان پوشش ضروری باشد، ابتدا فولاد را با لایه ای از مس و سپس با لایه دیگری

از نیکل پوشش نمود.



شکل ۵-۸: فلز روکش Zn خورده می شود.

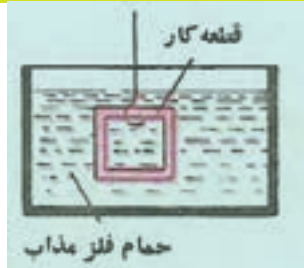


شکل ۶-۸: قطعه اصلی فولادی خورده می شود.

از مهمترین روشهایی که برای اعمال پوشش فلزی به کار می روند می توان، غوطه ور کردن در فلز مذاب، گالوانیزه کردن، پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله، آلیاژ کردن سطحی و روکش فلزی^۱ را نام برد.

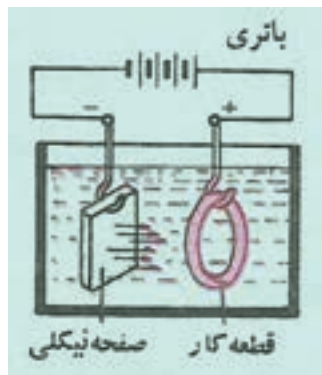
الف- غوطه ور کردن در فلز مذاب: در این روش باید ابتدا سطح قطعه مورد نظر را بوسیله اسید کاملاً تمیز کرد و چربی آنرا برطرف نمود، سپس قطعه را در فلز مذاب (بعنوان مثال روی، سرب و یا قلع مذاب) غوطه ور کرد، تا پس از خروج، لایه نازکی از فلز مذاب بر روی سطح آن قرار گیرد (شکل ۷-۸).

۱- Cladding



شکل ۷-۸: غوطه وری در فلز مذاب

ب- گالوانیزه کردن^۱: با استفاده از برق جریان مستقیم و یک مایع الکترولیت می توان لایه نازک و یکنواختی از یک فلز را بر روی فلزی دیگر قرار داد. برای این منظور باید مایع الکترولیت را حتماً از محلول نمک فلز پوشش انتخاب کرد و قطعه کار را به قطب مثبت و صفحه ای از فلز پوشش را به قطب منفی متصل نمود. با عبور جریان از داخل مایع، ذرات فلز مورد نظر بصورت لایه نازکی بر روی سطح قطعه قرار می گیرند. در شکل مقابل با عبور جریان ذرات نیکل بر روی حلقه نشان داده شده قرار گرفته و باصطلاح آب نیکل خواهد گرفت (شکل ۸-۸).



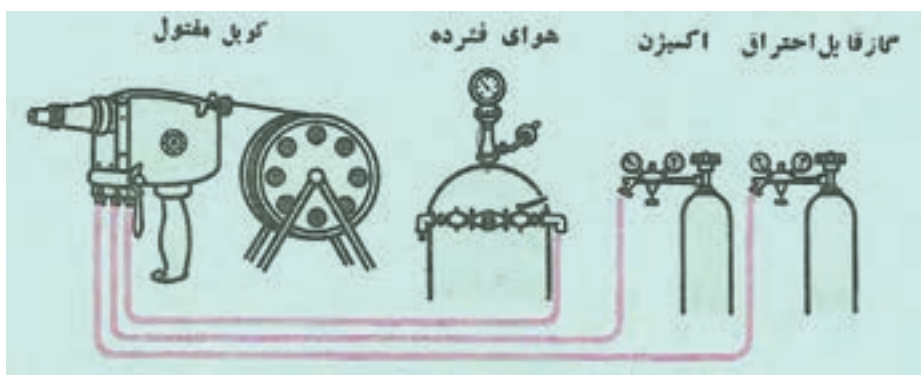
شکل ۸-۸: آبکاری نیکل

با این روش که گالوانیزه کردن نام دارد می توان فلزاتی مانند نیکل، کرم، کادمیم، روی، نقره، طلا و غیره را بر روی قطعات مورد نظر قرار داد و آنها را پوشش کرد.

ج- پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله: در این روش به کمک پیستوله، فلز پوشش را

۱- Galvanizing

که به صورت مفتول و یا پودر می باشد از طریق حرارتی که بوسیله گاز قابل اشتعال و یا قوس الکتریکی تأمین می شود به صورت مایع درمی آورند و سپس به کمک هوای فشرده به صورت ذرات ریزی بر روی قطعه مورد نظر می پاشند (شکل ۹-۸). با این روش می توان فلزاتی مانند روی، آلومینیم و فولادهای آلیاژی را نیز به عنوان پوشش بر روی فلز مورد نظر اعمال نمود. استفاده از روش پاشیدن به کمک پیستوله، همیشه به عنوان پوشش محافظ در مقابل خوردگی مورد استفاده نیست بلکه در تعمیرات نیز ممکن است به کار گرفته شود.



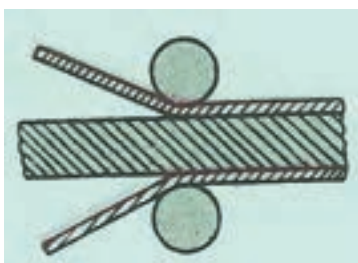
شکل ۹-۸: پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله

د- آلیاژ کردن سطحی: این روش بر مبنای انتقال حرارت از طریق برخورد سطحی ملکولهایی بنا شده است که باعث ایجاد اختلاط ذرات در محل برخورد می شوند. به عنوان مثال می توان از کرم دار کردن سطح فولادها نام برد که در این روش لایه نازکی از سطح خارجی قطعات را به وسیله کرم آلیاژ می کنند. برای این منظور قطعه کار مورد نظر را در فضای بسته ای در مجاورت نمک کرم (معمولاً کلرید کرم) تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند تا نمک کرم تبخیر شود. در این حالت انتقال حرارت از طریق مولکولهای بخار کرم به سطح قطعه کار باعث ایجاد یک قشر نازک آلیاژی می شود که در مقابل خوردگی مقاوم است. فولادهایی برای این منظور مناسب هستند که درصد کربن کمی داشته و یا در آنها تیتانیم وجود داشته باشد. از محاسن کرم دار کردن می توان عدم امکان تورق قشر محافظ را نسبت به گالوانیزه کردن نام برد، و از نظر مقاومت در مقابل خوردگی

با فولادهای آلیاژی کرم دار قابل مقایسه اند.

ه- روکش فلزی: نیمه ساخته ها، مانند ورق یا پروفیل را که از فلزات سنگین و یا فلزات سبک ساخته شده باشند می توان به وسیله کشیدن یک صفحه فلزی مقاوم در برابر خوردگی بر روی آنها به کمک نورد پوشش کرد (شکل ۸-۱۰).

با این روش می توان صفحاتی از فلزات مقاوم در مقابل خوردگی را بر روی فلزات قرار داد. موادی که برای روکش فولادها انتخاب می شوند معمولا عبارتند از: مس، برنج، نیکل و یا آلومینیم.



شکل ۸-۱۰: روکش فلزی

- ۱- پدیده خوردگی را تعریف کنید.
- ۲- خوردگی شیمیایی را شرح دهید.
- ۳- خوردگی الکتروشیمیایی را شرح دهید.
- ۴- خوردگی تماسی را شرح دهید.
- ۵- محیط های خورنده را نام ببرید.
- ۶- خسارات ناشی از خوردگی را شرح دهید.
- ۷- روش های محافظت در مقابل خوردگی را نام ببرید.
- ۸- روش روغن کاری به منظور محافظت سطح فلز را بنویسید.
- ۹- مشخصات روکش های مواد مصنوعی را بنویسید.
- ۱۰- روش لعاب دادن به منظور محافظت سطح فلز را شرح دهید.
- ۱۱- روکش کردن فولاد با روش شیمیایی را شرح دهید.
- ۱۲- روش های روکش کردن فلزی را نام ببرید.
- ۱۳- خصوصیات روکش کردن فلزی را شرح دهید.
- ۱۴- روش غوطه ور کردن در فلز مذاب را شرح دهید.
- ۱۵- روش گالوانیزه کردن سطح فلز را بنویسید.

کامپوزیت ها و نانو مواد

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

- ۱- کامپوزیت را تعریف کند.
- ۲- دسته بندی کامپوزیتها را بیان کند.
- ۳- ویژگیهای کامپوزیتها را توضیح دهد.
- ۴- فناوری نانو را تعریف کند.
- ۵- مفهوم عناصر پایه را در فناوری نانو بنویسد.
- ۶- ویژگی های مواد نانو را توضیح دهد.

۹-۱- کامپوزیت ها

مقدمه:

مواد کامپوزیتی، از ترکیب دو یا چند ماده با خواص متفاوت به وجود می آیند. مواد موجود در یک ماده ی کامپوزیتی، از لحاظ ساختار داخلی به آسانی قابل تشخیص هستند و در هم حل نشده اند و با هم پیوند نداده اند.

کامپوزیت ها در طبیعت نیز یافت می شوند. یک تکه چوب؛ کامپوزیتی از الیاف بلند سلولز است که با ماده دیگری به نام لیگنین (lignin) به هم اتصال پیدا کرده اند. سلولز همچنین در پنبه و کتان نیز وجود دارد، اما قدرت پیوند لیگنین است که باعث شده یک تکه چوب از یک تکه پنبه محکم تر باشد. استخوان نیز یک کامپوزیت مستحکم و ترد است.

کامپوزیت ها مواد جدیدی نیستند؛ انسان ها از مواد کامپوزیتی به مدت هزاران سال استفاده می کردند. از اولین کامپوزیت های ساخت بشر می توان کاه گل اشاره کرد. قایق هایی که سرخ پوست ها با قیر و بامبو می ساختند و تنورهایی که از گل، پودر شیشه و پشم بز

ساخته می‌شدند و در نواحی مختلف کشورمان یافت شده است، از کامپوزیت‌های نخستین هستند.

کامپوزیت معروف دیگر، بُن است که از مصالح سنگی (سنگ و ماسه های ریز و درشت) تشکیل شده که به وسیله ی سیمان به هم دیگر متصل شده اند. بتن مقاومت خوبی در برابر فشار دارد. این ماده را می توان به وسیله ی افزودن میله های فلزی کامپوزیت کرد (بتن تقویت شده) تا در برابر کشیدگی (نیروهای کششی) نیز بتواند رفتار خوبی داشته باشد. اولین کامپوزیت مهندسی که در اواخر دهه ی ۱۹۴۰ تولید شد، فایبرگلاس^۱ است. فایبرگلاس از رشته های شیشه که در زمینه پلیمری قرار گرفته اند، تشکیل شده است. این کامپوزیت هم اکنون متداولترین کامپوزیت مصرفی در کشورهای مختلف جهان است و در بدنه خودروها، صنعت ساختمان سازی، بدنه های قایق و وسایل ورزشی کاربرد دارد.

دسته بندی کامپوزیت ها:

طبق تعریف انجمن مواد آمریکا: به ترکیب ماکروسکوپی دو یا چند ماده ی مجزا که سطح مشترک مشخصی بین آنها وجود داشته باشد، کامپوزیت گفته می‌شود. کامپوزیت از دو قسمت اصلی زمینه و فاز تقویت کننده تشکیل شده است. زمینه با احاطه کردن فاز تقویت کننده، آن را در محل نسبی خودش نگه می‌دارد. فاز تقویت کننده موجب بهبود خواص مکانیکی ساختار می‌گردد.

دسته بندی کامپوزیت ها از دیدگاه زیستی به صورت زیر است:

کامپوزیت های طبیعی. مانند استخوان، ماهیچه، چوب و ...

کامپوزیت های مصنوعی (مهندسی)

کامپوزیت های مهندسی از لحاظ فاز زمینه به سه گروه دسته بندی می شوند:

کامپوزیت های با زمینه سرامیکی

کامپوزیت های با زمینه پلیمری

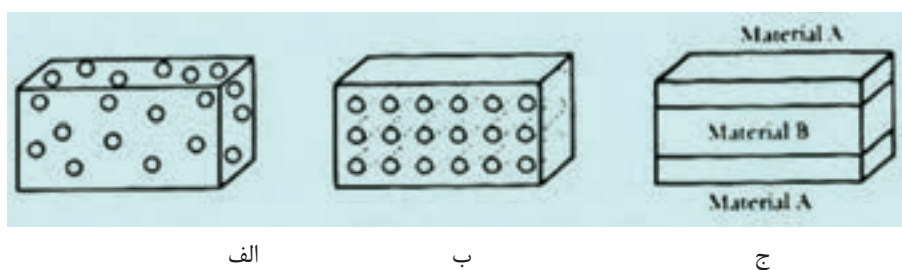
کامپوزیت های با زمینه فلزی

بر اساس نوع ، شکل و توزیع فاز تقویت کننده، کامپوزیت می تواند خواص متفاوتی در

۱- fiber glass

جهات مختلف داشته باشد. دسته‌بندی کامپوزیت‌ها از لحاظ نوع تقویت کننده در ذیل آمده است (شکل ۹-۱):

کامپوزیت‌های تقویت شده با رشته‌ها
کامپوزیت‌های تقویت شده توسط ذرات
کامپوزیت‌های ساختمانی (لایه ای)



شکل ۹-۱- مقایسه سه نوع از مواد مرکب
(الف) ماده مرکب ذره ای (ب) ماده مرکب تقویت شده با الیاف و (ج) ماده مرکب لایه ای.

مهم‌ترین مزیت مواد کامپوزیتی آن است که با توجه به نیازها، می‌توان خواص آنها را کنترل کرد. به طور کلی مواد کامپوزیتی دارای مزایای زیر هستند:

مقاومت مکانیکی بالا نسبت به وزن

مقاومت در برابر خوردگی بالا

خصوصیات خستگی عالی

خواص عایق حرارتی خوب

کاربرد کامپوزیت‌ها:

در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری، علاوه بر سه نوع اصلی رشته تقویت کننده شیشه ای، کربنی و آرامید؛ از بور، کاربید سیلیسیم و اکسید آلومینیم در حد محدودی استفاده می‌شود. رشته‌های بور در اجزاء هواپیماهای نظامی، تیغه‌های پره بالگرد و برخی وسایل ورزشی بکار میرود. از رشته ی کاربید سیلیسیم و آلومینا در راکت‌های تنیس، مدار چاپی و

دماغه مخروطی موشک استفاده می شود شکل (۲-۹) .



شکل ۲-۹- کاربرد کامپوزیت های زمینه پلیمری در وسایل ورزشی

قالبها و ماهیچه هایی که برای ریخته گری فلزات استفاده می شوند، غالباً از دانه های شن و سیلیس ساخته شده و بوسیله ی یک زمینه رزینی آلی یا غیرآلی پیوند داده شده اند. دانه های شن، مواد نسوز و عایقی هستند که با فلز مذاب واکنش نمی دهد. چسب های معمولی شامل رزینهای فنلی، رزینهای اورتان، رزینهای فوران و سیلیکات سدیم است. رزینها، دانه های شن را بطور مجزا پوشش می دهند و باعث برقراری اتصال بین آنها می شوند. حفره های بین دانه ای شن به گازها اجازه می دهد تا پیش از اینکه در فلز حبس شوند، از قالب خارج شوند.

سرمتها نمونه کامپوزیتهای سرامیک-فلز هستند . کاربرد های سمانته از معروف ترین سرمتها هستند که از ذرات بسیار سخت یک سرامیک کاربریدی دیرگداز مثل کاربرد تنگستن^۱ یا کاربرد تیتانیم^۲ در زمینه فلزی مثل کبالت یا نیکل تشکیل شده اند. از این کامپوزیتهای به عنوان ابزار برشی فولادها استفاده می شود. ذرات، خاصیت برشی را ایجاد می کنند و زمینه، از بهم پیوستن این ذرات ترد و امکان اشاعه ترک از طریق آنها جلوگیری به عمل می آورد. دیرگداز بودن زمینه و ذرات باعث می شود که دمای بالایی که در اثر برش مواد بسیار سخت ایجاد می شود، تحمل شود (شکل ۳-۹).

۱- WC

۲- TiC



شکل ۳-۹- کاربرد سرمته ها

لاستیک ها و پلاستیک ها غالباً با ذرات مختلفی نظیر دوده تقویت می شوند. دوده، ذرات بسیار ریز و کروی شکل کربن است که از طریق احتراق گاز طبیعی یا روغن در محیطی با اکسیژن کم تولید می شود. این ماده ارزان وقتی به لاستیک افزوده می شود استحکام کششی، چقرمگی و مقاومت سایش و گسیختگی را افزایش می دهد. تاثیر خودرو محتوی ۳۰-۱۵٪ حجمی دوده است. اندازه ذرات ۲۰ تا ۵۰ نانومتر است. ذرات دوده پیوند چسبنده مستحکمی با ماده لاستیک برقرار می سازند.

لاستیک هایی که در ساخت تایرهای اتومبیل بکار می روند، با استفاده از سیم های نایلونی، کولار و فولاد تقویت میشوند. سیم تقویت کننده یا الیاف، استحکام و عمر لاستیک را بهبود می بخشد (شکل ۴-۹).

کامپوزیت های زمینه سرامیکی شامل انواع گوناگون شیشه، شیشه سرامیکها و سرامیکهایی همچون کربن، کاربیدسیلیسیم^۱، نیتريدسیلیسیم^۲، آلومیناتها و اکسیدها میباشد. تقویت کننده های مورد استفاده عبارتند از کاربیدها، بوریدها، نیتريدها و کربن. کامپوزیت های زمینه سرامیکی، تنها کامپوزیت هایی هستند که بالای ۹۰۰ درجه سانتیگراد استحکام خود را حفظ می کنند. عمده ترین کامپوزیت های زمینه سرامیکی عبارتند از: کامپوزیت های کربن/کربن، کامپوزیت های آلومینا/کاربید سیلیسیم و کامپوزیت هایی با زمینه نیتريدسیلیسیم یا کاربیدسیلیسیم تقویت شده با الیاف پیوسته کاربیدسیلیسیم و کربن.

۱- SiC

۲- Si_۳N_۴



شکل ۴-۹- کاربرد کامپوزیت ها در لاستیک و موتور خودرو

کامپوزیت های کربن/کربن با پوشش کاربیدسیلیسیم به عنوان محافظ حرارتی در شاتل های فضایی استفاده شده است و کامپوزیت های کاربید سیلیسیم/کربن مواد مناسبی برای هواپیماها هستند. از کاربردهای دیگر کامپوزیت های سرامیکی می توان به اجزای موتورهای دما بالا، مته و ابزار تراش، اجزای مقاوم در برابر سایش، لوله اگزوز، نازل، لوله های مبدل گرما و غیره اشاره کرد (شکل ۵-۹).

موادی که برای تماس های الکتریکی در کلیدها و رله ها استفاده می شوند، باید ترکیب خوبی از مقاومت به فرسایش و هدایت الکتریکی داشته باشند. در غیر اینصورت، اتصالات ساییده و فرسوده می شوند که باعث تماس ضعیف و جرقه زدن می شوند. مواد مرکب ذره ای با زمینه نقره که با ذرات تنگستن تقویت شده است، موادی را مهیا می کنند که ترکیب مناسب از سختی و هدایت دارند. نقره خالص، بطور مؤثری جریان را هدایت می کند در حالی که تنگستن، مقاومت سایشی را ایجاد می کند.

شیشه ایمنی خودرو، ماده مرکب لایه ای است که در آن یک لایه ی چسب پلاستیکی، دو قطعه از شیشه را به هم متصل می کند. هنگامی که شیشه می شکند، چسب، تکه های شیشه را از متلاشی شدن باز می دارد. لایه ها برای عایق بندی در موتورها، ساخت دنده ها،

تخته های مدار چاپی، موارد تزئینی و لوازم منزل استفاده می شوند.



شکل ۵-۹- کاربرد کامپوزیت های در هوا فضا

فلزات روکش دار^۱، مواد مرکب فلز- فلز هستند. مواد روکشی، ترکیبی از مقاومت به خوردگی خوب با استحکام بالا تولید می کند. آلکلاد^۲ یک ماده مرکب لایه ای است که در آن آلومینیم خالص تجاری با آلیاژهای آلومینیم با استحکام بالاتر متصل می شود. آلومینیم خالص از آلیاژ با استحکام بالاتر، در مقابل خوردگی محافظت می کند. ضخامت لایه آلومینیم خالص حدود ۱٪ تا ۱۵٪ از ضخامت کل است. آلکلاد در ساخت هواپیما، مبدل های حرارتی، ساختمان سازی و مخازن استفاده می شود که در آن ترکیبی از مقاومت به خوردگی، استحکام و وزن سبک موردنظر است.

در کامپوزیت های زمینه فلزی از بیشتر آلیاژهای فلزی نظیر آلومینیم، مس، آهن، منیزیم، تیتانیم، نیکل و سرب استفاده می شود. فاز تقویت کننده به شکل ذرات اکسیدی و کاربیدی یا رشته های پیوسته و ناپیوسته ی کربن، کاربید سیلیسیم، بور، آلومینا و فلزات

۱- Clad

۲- Alclad

دیرگداز است. در جدول ۹-۱ به بعضی از کاربردهای کامپوزیت های زمینه فلزی که دارای استحکام بالا نسبت به وزن، خواص حرارتی مناسب، ضریب انبساط حرارتی پایین و مقاومت سایشی مناسب هستند اشاره شده است. با افزودن درصد کمی فاز تقویت کننده سرامیکی به آلیاژهای فلزی متداول می توان مقاومت سایشی را به مقدار زیادی افزایش داد. این کامپوزیت ها، هدایت حرارتی و الکتریکی مناسبی دارند.

برخی قطعات موتور از کامپوزیت های زمینه آلیاژهای آلومینیم که توسط رشته های آلومینا و کربن تقویت شده است، تولید شده اند. این کامپوزیت ها وزن کمتری دارند و مقاومت آنها در برابر سایش و اعوجاج حرارتی بیشتر است.

جدول ۹-۱ کاربرد کامپوزیت های زمینه فلزی

کاربرد	تقویت کننده	زمینه
خود روغن کار	گرافیت	آلومینیوم، منیزیم، سرب
مقاومت سایشی با سختی متوسط	کاربید سیلیسیم، آلومینا، کاربید تیتانیم، کاربید بور، اکسید سیلیسیم	آلومینیوم
مقاومت سایشی با سختی بالا	کاربید تنگستن، الماس	تیتانیوم، مس
ساختمانی	کاربید سیلیسیم، آلومینا	آلومینیوم، منیزیم
دمای بالا	کربن، آلومینا	تیتانیوم

۲-۹- نانو فلزات

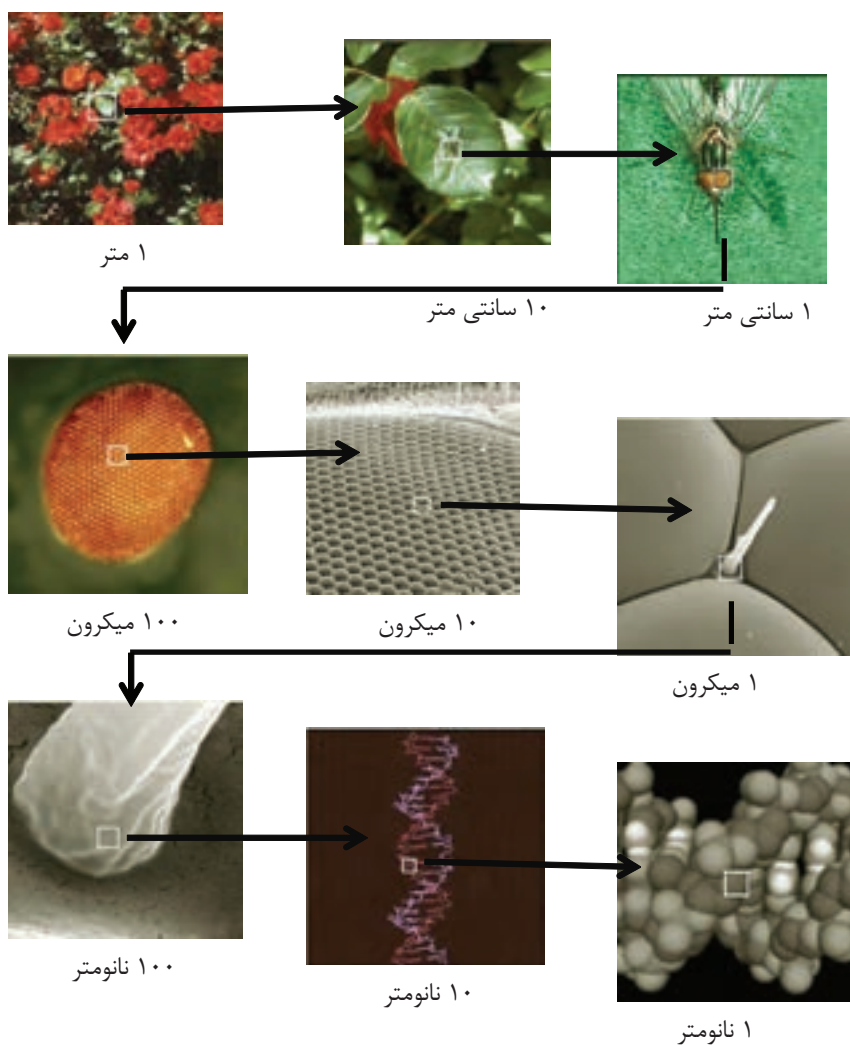
مقدمه:

فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با اندازه نانو اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. (۱ نانومتر برابر ۹-۱۰ (یک میلیاردیم) متر است). در شکل ۶-۹ اندازه‌های مختلف از ۱ متر تا ۱ نانومتر نشان داده شده است.

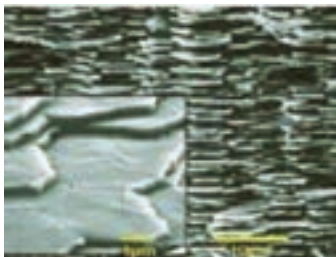
در طبیعت، مثالهای فراوانی از ساختارهای نانو وجود دارد که از آن جمله می‌توان به ساختار برگها در عمل فتوسنتز و پوسته صدف دریایی و کف پای مارمولک، تار عنکبوت، شاخ جانوران و سطوح برگها و بال پروانه‌ها اشاره کرد (شکل ۷-۹).

اولین جرقه فناوری نانو (البته در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود) در سال ۱۹۵۹ زده شد. در این سال، ریچارد فاینمن طی یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح ساخت. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم. واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که تکران ابعادی آنها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. در سال ۱۹۸۶ این واژه توسط کی اریک درکسلر در کتابی تحت عنوان: «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری نانو» بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله‌ی دکترای خود مورد بررسی قرار داده و بعدها آنرا در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها، ماشین‌های مولکولی، چگونگی ساخت و محاسبات آنها» توسعه داد. تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در اندازه مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته تنها کوچک بودن اندازه مورد نظر نیست؛ بلکه زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت در برابر خوردگی و ... تغییر می‌یابد. در حقیقت اگر بخواهیم تفاوت این فناوری را با فناوری‌های دیگر ارزیابی و بیان کنیم، می‌توانیم وجود «عناصر پایه» را به

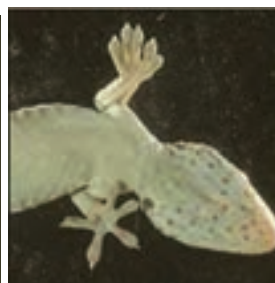
عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه، در حقیقت همان عناصر به اندازه ی نانو هستند که خواص آنها در حالت اندازه ی نانو با خواصشان در اندازه بزرگتر فرق می‌کند (شکل ۸-۹).



شکل ۶-۹- اندازه های مختلف از ۱ متر تا ۱ نانومتر



شکل ۷-۹- (الف) پوسته صدف دریایی شامل لایه های کربنات کلسیم است با ضخامت نانو که با پروتئینی به نام موتار به هم متصل شده اند.

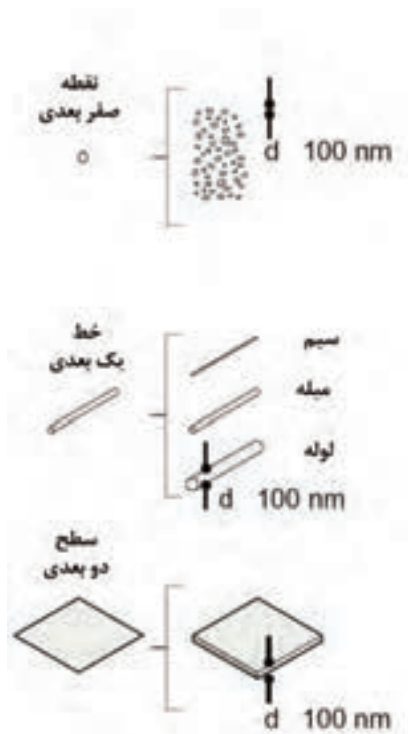


(ب) کف پای مارمولک خانگی با نیم میلیون شاخک های مویی، به قطر ۲۰۰ نانومتر، پوشیده شده است و امکان راه رفتن روی سقف یا سطوحی مثل شیشه را به جانور می دهد.



(ج) برگ گل نیلوفر آبی دارای خاصیت خود- تمیز شوندگی است و آلودگی سطح آن با آب باران شسته می شوند.

شکل ۸-۹- عناصر پایه در فناوری نانو



اولین و مهمترین عنصر پایه، نانوذره است. منظور از نانوذره، همانگونه که از نام آن مشخص است، ذراتی با ابعاد نانومتری در هر سه بعد می‌باشد. نانوذرات می‌توانند از مواد مختلفی تشکیل شوند، مانند نانوذرات فلزی، سرامیکی، ...

دومین عنصر پایه، نانوکپسول است. همان طوری که از اسم آن مشخص است، کپسول‌هایی هستند که قطر نانومتری دارند و می‌توان مواد مورد نظر را درون آنها قرار داد و کپسوله کرد.

عنصر پایه بعدی، نانولوله کربنی است. این عنصر پایه در سال ۱۹۹۱ در شرکت NEC کشف شدند و در حقیقت لوله‌هایی از گرافیت می‌باشند. اگر صفحات گرافیت را پیچیده و به شکل لوله در بیاوریم، به نانولوله‌های کربنی می‌رسیم. این نانولوله‌ها دارای اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و می‌توانند تک دیواره یا چند دیواره باشند. این لوله‌ها خواص بسیار جالبی دارند که منجر به ایجاد کاربردهای جالب توجهی از آنها می‌شود.

روش های ساخت عناصر پایه

به طور کلی عناصر پایه با دو روش «بالا به پایین» و «پایین به بالا» قابل ساخت می‌باشند. در روش بالا به پایین برای تولید محصول، یک ماده توده‌ای را شکل‌دهی و اصلاح می‌کنند. در حقیقت در این روش، یک ماده بزرگ را برمی‌داریم و با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن، به یک محصول با ابعاد نانو می‌رسیم. به عبارت دیگر، اگر اندازه‌ی یک ماده توده‌ای را به طور متناوب کاهش دهیم تا به یک ماده با ابعاد نانومتری برسیم، از روش بالا به پایین استفاده

کرده‌ایم. این کار اغلب و نه همیشه شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است، مثل ماشین‌کاری یک بخش فلزی یا نانوساختاری کردن فلزات به طریق تغییر شکل‌دهی (که شامل ضایعات نیست). روش پایین به بالا درست عکس روش بالا به پایین می‌باشد. در این روش، محصول از طریق کنار هم قراردادن مواد ساده‌تر به وجود می‌آید، مانند ساخت یک موتور از قطعات آن. در حقیقت کاری که در اینجا انجام می‌شود، کنار هم قرار دادن اتم‌ها و مولکول‌ها (که ابعاد کوچکتر از اندازه نانو دارند) برای ساخت یک محصول نانومتری است. تصور کنید که قادریم اتم‌ها و مولکول‌ها را به طور واقعی ببینیم و آنها را به طور دلخواه کنار هم قرار دهیم تا شکل مورد نظر حاصل شود. معمولاً روش‌های پایین به بالا ضایعاتی ندارند؛ هر چند الزاماً این مسأله صادق نیست.

نانو ذرات

یک نانوذره، ذره ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. نانو ذرات رایج‌ترین عناصر در علم و فناوری نانو بوده و خواص جالب توجه آنها باعث گردیده است کاربردهای بسیار متنوعی در صنایع شیمیایی، پزشکی و دارویی، الکترونیک و کشاورزی داشته باشند. با توجه به ترکیب شیمیایی، این ذرات به انواع فلزی، سرامیکی، پلیمری و نیمه‌هادی تقسیم می‌شوند. سنتز شیمیایی و فرآیندهای حالت جامد نظیر آسیاب کردن و متراکم کردن بخار، روش‌های معمول برای ساخت نانوذرات هستند. کنترل فرایند تولید برای رسیدن به نانوذرات با خواص مناسب امری بدیهی است، در همین راستا تعیین مشخصات نانوذرات با روش‌های آنالیز میکروسکوپی، ساختاری و تعیین اندازه و سطح و... بررسی می‌شود.

نانوذرات زمینه های کاربردی زیادی دارند که مهم ترین آنها عبارتند از:

مواد کامپوزیت

کامپوزیتهای ساختاری

کاتالیزور

بسته بندی

پوششها

افزودنیهای سوخت و مواد منفجره

سایندهها

باتریها و پیلهای سوختی

پزشکی و داروسازی

دارو رسانی

محافظت کنندهها

آنالیز زیستی و تشخیص پزشکی

لوازم آرایشی

برای تولید نانوذرات، روش های بسیار متنوعی وجود دارد. این روش ها اساساً به سه دسته تقسیم می شوند:

متراکم کردن از یک بخار، سنتز شیمیایی و فرآیندهای حالت جامد نظیر آسیاب کردن.

نانوذرات فلزی

نانوذرات فلزی با استفاده از روشهای متراکم کردن بخار و سیم انفجاری تولید می شوند. این نانوذرات میتوانند بدون اینکه ذوب شوند (تحت نام پخت) در دماهای پائین تر از نقطه ذوب فلز، در سطح یک قطعه جامد پوشش داده شوند، این کار منجر به آسانتر شدن فرآیند تولید پوشش ها و بهبود کیفیت آنها، خصوصاً در کاربردهای الکترونیکی نظیر خازن ها میگردد. همچنین نانوذرات فلزی، در مقایسه با ذرات فلزی بزرگتر؛ در دماهای پایینتری به سطوح و مواد توده ای تبدیل میشوند و هزینه ی ساخت را کاهش میدهند.

رایج ترین نانوذرات، نانوذرات سرامیکی هستند که به سرامیک های اکسید فلزی، نظیر اکسیدهای تیتانوم، روی، آلومینیم و آهن و نانوذرات سیلیکاتی (اکسیدهای سیلیکون) که عموماً به شکل ذرات در اندازه نانو خاک رس هستند، تقسیم می شوند. نانوذرات اکسید فلزی، دارای اندازه یکسانی در هر سه بعد، از دو یا سه نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر هستند.

وقتی اندازه نانوذرات کاهش می یابد، نسبت سطح مؤثر به حجم ذرات افزایش یافته، اثرات سطحی و خاصیت کاتالیستی افزایش می یابد. به همین دلیل نانوذرات به عنوان کاتالیزور در زمینه هایی نظیر باتری ها، پیل های سوختی و انواع فرآیندهای صنعتی کاربرد دارند. افزایش سهم اتم ها در سطح نانوذرات نیز خواص فیزیکی آنها را تغییر می دهد، به طور مثال سرامیک هایی که به طور عادی شکننده اند، نرم تر می شوند. سرانجام این که افزایش سطح مؤثر، حلالیت را افزایش می دهد.

نانوکامپوزیت های نانو ذره ای فلزی

نانوکامپوزیت های نانوذره ای فلزی از مخلوط شدن نانوذرات فلزی با پلیمرها بدست می آیند. این نانوکامپوزیت ها، به دلیل جلوگیری از تداخل امواج الکترومغناطیس، می توانند در رایانه و تجهیزات الکترونیکی به کار روند. نانوکامپوزیت های نانوذره ای فلزی قابلیت های ویژه ای در هدایت گرمایی و الکتریکی دارند که کارایی آن ها را افزایش می دهد.

نانوپوشش ها و نانولایه ها

نانوپوشش ها، سطوحی تک لایه یا چند لایه با ضخامت ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. پوشش های مبتنی بر نانوذرات خواص مختلفی را از خود بروز می دهند. استحکام و مقاومت سایشی جزو خواصی هستند که بیشترین مزیت را در نانوپوشش ها داشته و شفافیت نیز در مورد آنها حائز اهمیت است؛ خصوصاً در حالتی که افزایش سختی بدون کدر شدن سطح نیاز باشد. استفاده از پوشش ها روی سطوح سرامیکی، باعث ضدخش شدن و راحت تمیز شدن سطوح مذکور می گردد (شکل ۹-۹).

همچنین، می توان از نانوپوشش های سخت و ضد خش برای پوشش دهی شیشه های عینک استفاده کرد. نوعی از پیل های خورشیدی عرضه شده اند که به منظور افزایش استحکام شان از نانوذرات ساخته شده اند. پوشش های پاششی، مبتنی بر نانوذرات اکسید فلزی در تعمیر بخش های فلزی فرسوده یا خورده شده مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۹-۹- پوشش های نانو روی سطح مواد سرامیکی

امروزه، نانوذرات فلزی در صنعت الکترونیک برای پوشش دادن سطوح خازن ها نیز استفاده می شوند. نانوپوشش اکسیدتیتانیم نانوبلوری ، امکان تولید پنجره های فتوکرومیک (تغییر رنگ در اثر نور) یا الکتروکرومیک (تغییر رنگ در اثر اعمال پتانسیل الکتریکی) ارزان قیمت را بوجود می آورد. همچنین می توان سطوحی را روی پنجره ها به وجود آورد که با کمترین بارش اتفاقی باران، خود به خود پاکیزه شوند. پوشش ها می توانند ضد الکتریسیته ی ساکن، ضد بخار و ضد بازتاب باشند و در عین حال که اجازه ی عبور نور مرئی را می دهند، مانع عبور طول موجهای کوچک نور نظیر اشعه ی ماورای بنفش شوند. تعدادی از پوشش های سرامیکی حاوی نانوذرات یک نوع کامپوزیت را به وجود آورده اند که به خاطر خواصی چون مقاومت سایشی و شیمیایی و عایق حرارتی کاربردهای زیادی دارند . به طور مشابه پوشش های مبتنی بر سولفید مولیبدن که حاوی نانوخوشه ها هستند مقاومت بیشتری را در برابر اصطکاک ، سایش و خوردگی شیمیایی حاصل از اصطکاک تحت شرایط مرطوب نشان داده اند .

پوشش ها، به طور اجتناب ناپذیری کاربردهایی همچون حفاظت وسایل الکترونیکی سفینه های فضایی در برابر تشعشع و حفاظت حرارتی برای ورود مجدد به جو را خواهند داشت.

پوشش های سرامیکی نانوذره ای، موجب پایداری حرارتی و مقاومت فرسایشی در قطعات موتور می شوند. پوششهای حاوی نانوذرات فلزی که کاربردهای مشخصی در کامپیوترها و تجهیزات الکترونیکی دارند، در مقابل تداخل الکترومغناطیسی ممانعت خوبی نشان

می دهند.

نانوسیم های فلزی- نانوسیم های فلزی در نانوقطعات الکترونیکی و الکتریکی به عنوان اتصال دهنده کاربرد دارند. این نانوساختارها همچنین میتوانند به عنوان حافظه نیز عمل کنند.

مواد نانوبلوری توده ای

مواد نانوبلوری توده ای از بلورهایی ساخته شده اند که شامل چندصد تا چند هزار اتم بوده و در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. ساختار نانوبلورها بدلیل فشردگی اتم ها در کنار یکدیگر کمترین انرژی آزاد سطحی را دارد. وقتی اندازه ی بلور در ماده به سمت اندازه نانو می رود، نسبت اتم های موجود بر روی مرز بلورها به تعداد اتمهای کل افزایش مییابد. رفتار اتمهای مرزی کاملاً متفاوت از اتم های داخل ذره می باشد و رفتار کل ماده را تحت تأثیر قرار میدهد. غالباً این پدیده در فلزات باعث افزایش استحکام، سختی، مقاومت الکتریکی، ظرفیت حرارتی ویژه، بهبود انبساط حرارتی، خواص مغناطیسی و کاهش رسانایی حرارتی و در سرامیکها باعث افزایش چکش خواری، بهبود خواص مکانیکی و حرارتی می گردد.

برای ایجاد مواد نانوبلوری توده ای چندین روش وجود دارد که عبارتند از:

- فشرده سازی پودر

- روشهای متبلورسازی مواد آمورف اولیه

- فرآوری تغییر شکل پلاستیکی شدید

در روش فشرده سازی پودر، ابتدا ذرات نانومقیاسی تولید می شوند که متعاقباً توسط روش های استاتیکی یا دینامیکی به هم فشرده می شوند.

متبلورسازی مواد آمورف میتواند ریزترین اندازه از نانوساختارها را تولید کند، اما محدود به موادی می شود که می توانند ابتدا به حالت آمورف برسند.

روش های فرآوری تغییر شکل های شدید تنها برای فلزات کاربرد دارند. کاهش اندازه بلور تقریباً در هر فلز باعث افزایش چشمگیر استحکام و در بسیاری مواد باعث افزایش چکش خواری میگردد. به دلیل اینکه چنین روشهایی میتوانند در مقیاس بزرگ اجرا شوند، بسیار

بیشتر از روشهای دیگر برای تجاری سازی مورد توجه هستند.

کاربردی ترین مواد نانوبلوری توده ای، فلزات نانوبلوری هستند که در صنایع خودروسازی، هوافضا و صنایع ساختمانی کاربرد دارند. فلزات نانوبلوری می توانند به جای فلزات و آلیاژهای ساختاری موجود مصرف شوند. یکی از زمینه هایی که فلزات نانوبلوری مورد استفاده قرار می گیرند، تولید قطعات مستحکم مورد استفاده در صنایع خودروسازی است. در چنین مواردی عملکرد فوقالعاده ی آنها در دماهای بالا، یعنی انبساط کمتر در اثر افزایش دما، از محاسن آنها به شمار می رود.

استفاده از نانو فلزات در بخش های مختلف عبارتند از: (شکل ۱۰-۹):

الف- بهبود خواص مکانیکی و ایجاد مواد مستحکم و سبک

کاربرد سازه ای: اسکلت فلزی ساختمان ها و پل ها
صنایع دفاعی: زره ها و تجهیزات دفاعی
موتورها: خودروسازی و موتور جت هواپیماهای تجاری و نظامی
قطعات کاشتنی پزشکی
تجهیزات ورزشی

ب- مواد با مقاومت خوردگی بالا

ساخت ابزارها و تاسیسات ضد خوردگی: دکل های نفتی
لوله ها: انتقال نفت و گاز، انتقال آب و مواد شیمیایی

ج- بهبود مقاومت حرارتی

بهبود خواص انبساط حرارتی، افزایش ظرفیت حرارتی ویژه و کاهش رسانایی حرارتی
هوا و فضا: ساخت قطعات مورد استفاده در دماهای بالا: نازل موشک، سپر حرارتی سفینه فضایی

قطعات موتور خودرو و هواپیما

د- خواص خاص ضد باکتری و قارچ

پزشکی: پارچه و الیاف ضدباکتری؛ شامل ذرات فلزی مس، نقره، و روی، بهبود سریع

تولید رنگ ها و کاشی و سرامیک های ضد باکتری
 استریل کردن تجهیزات پزشکی، تصفیه هوا
 کشاورزی: مبارزه با آفت ها و بیماری های گیاهی
 سازگار با محیط زیست و بی ضرر برای انسان



شکل ۱۰-۹- کاربردهای نانوفلزات

سرامیک و رنگ: خاصیت ضد عفونی و ضد سایش
 استحکام مکانیکی، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی
 دیوار ساختمانهای مسکونی و بیمارستانها، بدنه کشتی ها
 تولید و نگهداری محصولات کشاورزی و دامپروری: حفظ کیفیت و
 نگهداری طولانی مدت در ظروف حاوی نانو ذرات فلزی

- ۱- کامپوزیت چیست؟ انواع دسته بندی کامپوزیت ها را بنویسید.
- ۲- مهم ترین مزیت مواد کامپوزیتی را نام ببرید.
- ۳- کاربرد کامپوزیت ها را در خودرو بنویسید.
- ۴- کامپوزیت های زمینه فلزی از کدام زمینه ها و کدام تقویت کننده ها تشکیل می گردد؟
- ۵- عناصر پایه در فناوری نانو چیست؟ انواع عناصر پایه و روش ساخت آنها را نام ببرید.
- ۶- کاربرد نانو فلزات در صنایع مختلف را بنویسید.

نرم بندی فلزات و آلیاژهای آهنی و غیر آهنی

مقدمه

به منظور ایجاد زبانی مشترک میان تولید کننده، فروشنده و سازنده مصنوعات فولادی و چدنی انواع فولادها و چدن ها را نرم بندی (استاندارد) کرده اند. بیشتر کشورهای صنعتی پیشرفته، برای خود نرم بندی جداگانه ای دارند و بر حسب تجربیات و زبان متداولشان، از علامت ها، حروف و عددیایی برای بیان اختصاری اطلاعات لازم جهت معرفی هر یک از تولیدات خود استفاده می کنند.

در این میان، سازمان های بین المللی نیز برای ایجاد وحدت در نرم بندی کوشیده اند اما متأسفانه این فعالیتها در مورد نرم بندی فلزات و آلیاژهای آنها ثمر بخش نبوده و هنوز در بیشتر کشورها، نرم بندی کشورهای عمده تولید کننده اعمال می گردد.

۱-۱۰- نرم بندی فولادها

برای معرفی انواع فولادها، کشورهای تولید کننده از علامتها، حروف و عددیهای مخصوصی برای معرفی استفاده می کنند؛ به عنوان مثال، کشور آلمان تمام فولادها را طبق "دین ۱۷۰۰۶" استاندارد کرده است.

علامت هایی که برای معرفی فولادها به کار می روند، شامل سه بخش عمده عناصر تشکیل دهنده، روش تولید و عملیات انجام گرفته روی آنها قبل از عرضه به بازار می باشد.

۱-۱۰-۱- علائم بخش عناصر تشکیل دهنده: در این بخش، عناصر تشکیل

دهنده، استحکام و درجه مرغوبیت فولاد به کمک حروف و اعداد معرفی می شود.

حروف شناسایی برای فولادهای ساختمانی معمولی، St است. پس از این حروف، عددی نوشته می شود که با ضرب کردن آن عدد در ۹/۸۱، مقدار حداقل استحکام کششی فولاد بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع به دست می آید. پس از عدد مربوط به استحکام، خط تیره

قرار می گیرد و سپس درجه کیفیت فولاد به وسیله اعداد ۱ تا ۳ معرفی می شود.

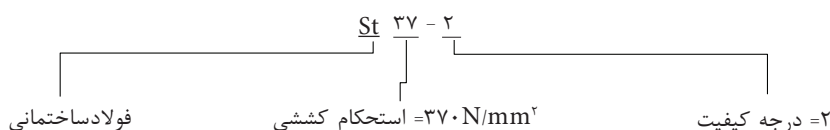
درجه ۱: برای کارهای معمولی که نوشته نمی شود.

درجه ۲: برای کارهای مهم

درجه ۳: فولادی که آرام ریخته گری شده و دارای درجه خلوص بالا و خواص جوشکاری

خوب است.

مثال:

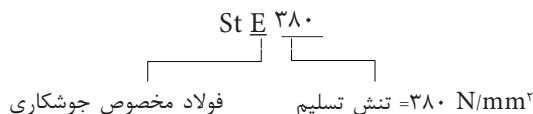


حروف شناسایی فولادهای ساختمانی دانه ریز مخصوص جوشکاری، St E است.

برای معرفی مقدار حداقل تنش تسلیم در این فولادها، از اعدادی که بعد از حروف نوشته

می شوند، استفاده می شود.

مثال:



برای تسمه ها و ورقهایی که جنس آنها از فولاد غیرآلیاژی نرم است و برای کشش

مناسب هستند، از حروف شناسایی St استفاده می شود و پس از آن، اعداد ۱۲ تا ۱۴ درج

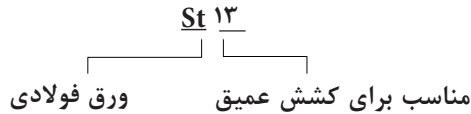
می گردد.

۱۲: برای کشش معمولی

۱۳: برای کشش عمیق

۱۴: برای کشش عمیق و مخصوص

مثال:

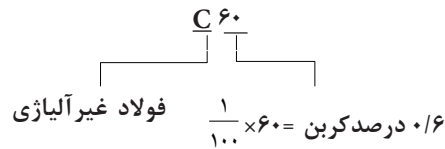


در این بخش، علاوه بر علائم یاد شده از علامت شیمیایی عناصری که در محصول نقش تعیین کننده دارند، نیز استفاده می شود. در این گونه موارد، علائم شیمیایی به ترتیب درصد وزنی موجود در آلیاژ و با توجه به ضرایب مربوط از زیاد به کم نوشته می شود. جدول ۱-۱۰ ضرایب عناصر موجود در فولاد را نشان می دهد.

جدول ۱-۱۰- ضرایب عناصر موجود در فولاد							
۴		۱۰			۱۰۰		۱۰۰۰
Cr	کرم	Al	آلومینیم	Ta	تانتالم	C	کربن
Co	کبالت	Be	بریلیم	Ti	تیتانیم	S	گوگرد
Mn	منگنز	Cu	مس	V	وانادیم	N	نیتروژن
Ni	نیکل	Mo	مولیبدن	Zr	زیرکینم	Cs	سزیم
Si	سیلیسیم	Nb	نیوبیم	Pb	سرب		
W	تنگستن		(کلمبیم)				

حرف C، حرف شناسایی فولادهای غیر آلیاژی (کربنی) است که برای عملیات حرارتی سخت کاری و به سازی مناسب هستند. پس از حرف شناسایی، عددی نوشته می شود که معرف مقدار کربن موجود در آنها با ضریب $\frac{1}{100}$ است.

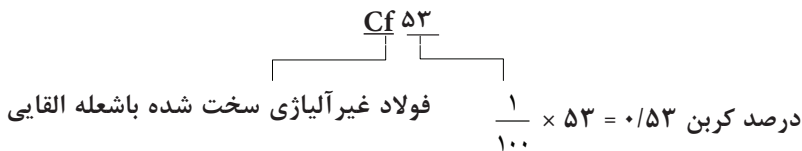
مثال:



برای معرفی فولادهای غیرآلیاژی نجیب با درجه خلوص بیشتر، پس از علامت شیمیایی C از حروف دیگری نیز استفاده می شود که دارای مفاهیمی به شرح زیر هستند:

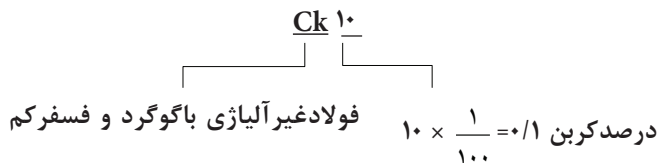
f = فولادهای سختکاری شده با شعله والقاء

مثال:



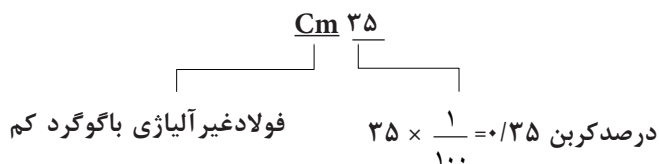
k = فولاد نجیب با محتوای گوگرد و فسفر کم

مثال:

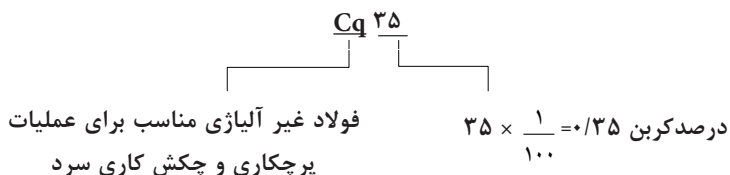


m = فولاد نجیب با محتوای گوگرد کم (۰/۰۲ تا ۰/۰۳۵ درصد)

مثال:



q = فولاد سخت شده سطحی، مناسب برای عملیات پرچکاری و چکش کاری سرد
مثال:

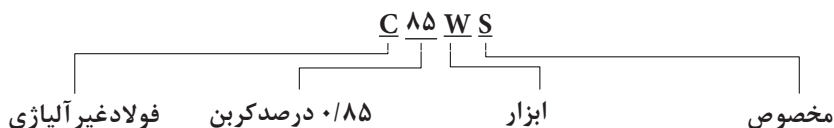


برای معرفی فولادهای ابزارسازی غیر آلیاژی، پس از علامت شیمیایی C و عدد معرف مقدار کربن با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$ ، حرف W (ابزار) و سپس اعداد از ۱ تا ۳ یا حرف S نوشته می شود.

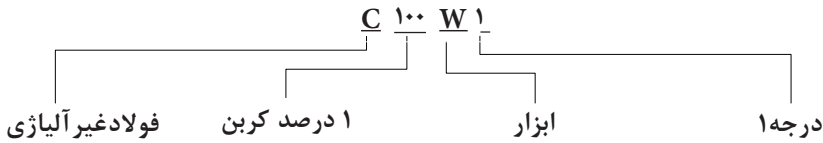
۱، ۲، ۳ = درجه مرغوبیت

۳ = مخصوص

مثال ۱:

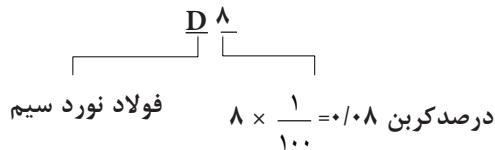


مثال ۲:



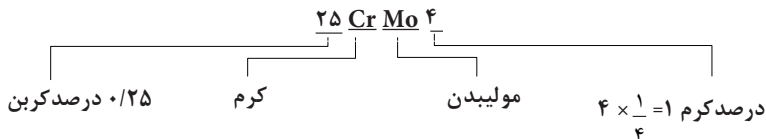
حرف شناسایی فولاد نورد سیم، حرف D است. پس از این حرف، عددی که معرف مقدار کربن موجود در آن با ضریب $\frac{1}{100}$ است، نوشته می شود.

مثال:

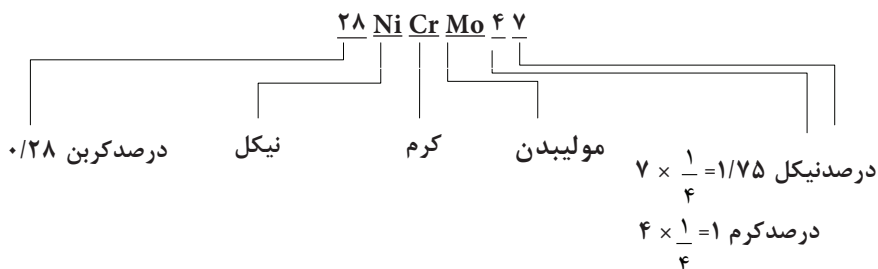


معرفی فولادهای کم آلیاژی را که مجموع عناصر تشکیل دهنده آنها از ۵ درصد کمتر باشد، بدون استفاده از علامت شیمیایی C با یک عدد آغاز می کنند. این عدد معرف مقدار درصد کربن موجود در آنها با ضریب $\frac{1}{100}$ است. پس از عدد معرف درصد کربن، علامت اختصاری شیمیایی سایر عناصر مهم به ترتیب درصد وزنی موجود در آلیاژ و با توجه به ضرایب داده شده در جدول ۱-۱۰ از زیاد به کم می نویسند.

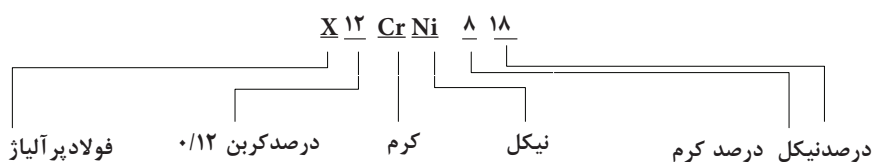
مثال ۱:



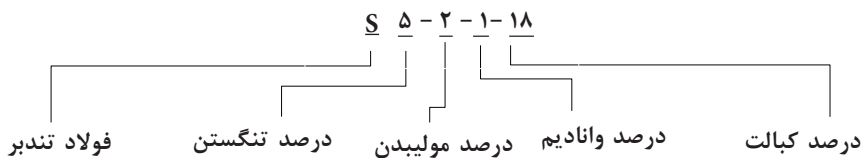
مثال ۲:



توجه: مقدار مولیبدن موجود در آلیاژ زیر ۱ درصد است و نوشته نشده است. علامت شناسایی فولادهای پرآلیاژ که مجموع عناصر تشکیل دهنده آلیاژی آنها از ۵ درصد بیشتر است، با حرف X آغاز می شود. پس از این حرف، عددی وجود دارد که معرف مقدار درصد کربن با ضریب $\frac{1}{100}$ است. و پس از آن، علامتهای اختصاری شیمیایی سایر عناصر مهم به ترتیب درصد وزنی موجود در آلیاژ با ضریب ۱ نوشته می شود. مثال:



حرف شناسایی فولادهای تندبر حرف S است. پس از این حرف، عددی که معرف مقدار درصد وزنی تنگستن، مولیبدن، وانادیم و کبالت با ضریب ۱ است، درج می شود. مثال:



۱۰-۱-۲- بخش روش تولید: حروفی که در این بخش به کار می رود فرآیند تهیه فولاد و ویژگیهای برجسته و نحوه ریخته گری آنرا مشخص می کند. در جدول ۱۰-۲، مفاهیم این حروف را مشاهده می کنید.

جدول ۱۰-۲

حروف مشخصه ^۱	مفهوم	مثال
A	فولاد مقاوم به تغییرات جوی	A25 Cr Mo 4
G	مواد ریختگی	G -X12 Cr 14
P	مناسب برای قطعات تهیه شده	PSt 50 - 2
R	درقالبهای بسته آهنگری	RSt 37 - 2
RR	فولاد آرام شده هنگام ریختن در کوکیل	RR St 34 - 7
RO	فولاد آرام مخصوص	ROSt 37 - 3
S	مخصوص لوله های جوشکاری	GTW - S38 - 12
T	مناسب برای دماهای پایین	TStE - 32
U	فولاد نا آرام	USt 37 - 2
WT	فولاد مقاوم به تغییرات آب و هوا	WTSt 37 - 3
Z	مخصوص کشش	ZSt 44 - 2

۳-۱-۱۰- بخش عملیات انجام شده: حروفی که در این بخش به کار می روند، مشخص کننده عملیات حرارتی، روش شکل دادن و کیفیت سطح در ورقهای ظریف است. علامتهای مربوط به این بخش در آخر حروف و اعداد معرف فولاد نوشته می شوند. در بعضی موارد، پس از حرف مربوط به بخش عملیات انجام شده، عددی قرار دارد که معرف استحکام کششی آن بر حسب دکا نیوتن بر میلیمتر مربع است. در جدول ۳-۱۰، حروف معرف این بخش و مفاهیم آنها را به همراه یک مثال مشاهده می کنید.

جدول ۳-۱۰

حروف مشخصه	مفهوم	مثال
G	آنیل ^۱ نرم شده است.	16 Mn Cr 5 G
K	در حالت سرد کشیده شده است.	95 Mn 28 K
N	آنیل نرمال شده است.	Ck 45 N
SH	پوسته های سطحی بر طرف شده است.	Ck 45 SH
U	عملیات حرارتی انجام نشده است.	St 37 - 2 U
V	عملیات بهسازی انجام شده است.	42 Cr Mo 4 V 90

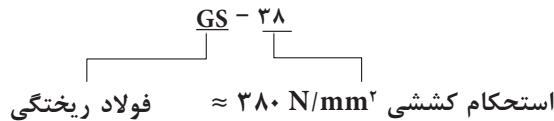
۱- منظور از آنیل یا تاباندن این است که فولاد را به آرامی تا رسیدن به دمای معینی گرم می کنند سپس تا زمانی معین آن را در این دما نگه می دارند؛ آنگاه آن را در محیطی بسته تا دمای محیط به تدریج خنک می کنند.

۲- سخت کردن فولاد همراه با برگشت دردمای بالا را بهسازی گویند؛ به این وسیله سماجت فولاد زیاد می شود و استحکام آن نیز بالا می رود.

۲-۱۰- نرم بندی فولادهای ریختگی

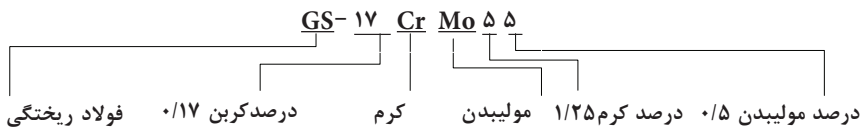
حروف شناسایی فولادهای ریختگی GS است. پس از این علامت، خط تیره و بعد از آن عددی وجود دارد که با ضرب آن در عدد ۹/۸۱، حداقل استحکام فولاد ریختگی بر حسب

نیوتن بر میلیمتر مربع به دست می آید. مثال:



برای معرفی فولاد ریختگی آلیاژی پس از حروف مشخصه GS و خط تیره، عددی نوشته می شود که معرف درصد وزنی کربن با ضریب $\frac{1}{100}$ است. پس از آن، علائم شیمیایی سایر عناصر مهم به ترتیب درصد وزنی موجود در آلیاژ و با توجه به ضرایب موجود در جدول ۱۰-۱ از زیاد به کم نوشته می شود.

مثال:



۳-۱۰- نرم بندی چدن ها

علامت شناسایی چدن ها و مواد ریختگی حرف G است. و پس از آن، حروف دیگری که مشخص کننده نوع چدن یا روش ریخته گری قطعه ریختگی است، قرار دارند. در انتها و پس از خط تیره، عددی نوشته شده است که با ضرب کردن آن در عدد ۹/۸۱، استحکام کششی چدن بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع به دست می آید. در جدول ۴-۱۰، حروف مشخصه مفهوم و مثالی از چدن ها را مشاهده می کنید.

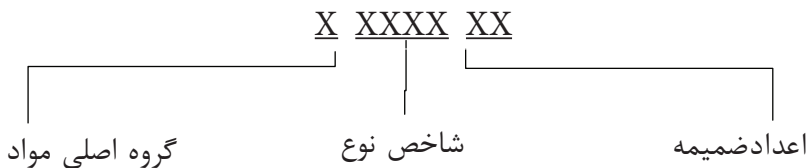
جدول ۴-۱۰

حروف مشخصه	مفهوم	مثال
GG	چدن خاکستری با گرافیت لایه ای	GG - 20
GGG	چدن خاکستری با گرافیت کروی (داکتیل)	GGG - 60
GTS	چدن چکش خوار (مالیبل) سیاه	GTS - 55
GTW	چدن چکش خوار (مالیبل) سفید	GTW - 35
GH	چدن سخت	GH - 15
GK	ریخته گری در قالب فلزی	GK - AlMg 3
GZ	ریخته گری گریز از مرکز	GZ - X 12 Cr 14

توجه: عدد درج شده در انتهای علامت چدن سخت، عمق نفوذ سختی آن را برحسب میلیمتر نشان می دهد (نه استحکام آن را).

۴-۱۰- شماره گذاری مواد طبق دین ۱۷۰۰۷ آلمان

در این سیستم، مشخصات مواد به کمک شماره گذاری معرفی می شود. شماره مواد از ۷ رقم (عدد) تشکیل شده و ساختار آن به قرار زیر است:



۱-۴-۱۰- گروه اصلی مواد: گروه اصلی مواد به کمک عددهای یک رقمی با مفاهیم

زیر مشخص می شود:

۰= آهن خام، آلیاژهای آهن دار، چدن

۱= فولاد، فولاد ریختگی

۲= فلزات غیر آهنی سنگین

۳= فلزات سبک

۴ تا ۸= مواد غیر فلزی

۹= آزاد برای سایر مصارف یا کاربرد داخلی

۲-۴-۱۰- شاخص نوع: رقمهای دوم و سوم از سمت چپ، مشخص کننده نوع مواد

است. جدول ۵-۱۰ شماره نوع فولادها و مفهوم آن را نشان می دهد.

رقمهای چهارم و پنجم از سمت چپ، نشان دهنده شماره عددی هستند. شماره عددی

هیچ مطلبی را درباره ترکیب شیمیایی بیان نمی کند.

جدول ۵-۱۰

فولادهای کیمی		فولادهای نجیب		
نوع معمولی	نوع مخصوص	فولادهای غیر آلیاژی	فولادهای ابزار سازی	فولادهای مختلف
00	90 پایه و تجزیه‌ای	10 فولادهای فیزیکی مخصوص	20 Cr	30
01 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	91 طبق DIN 17 100	11 فولادهای ساختمانی + 0.50% C < 0.30% C	21 Cr-Si, Cr-Mn, Cr-Mn-Si	31
02 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	92 سایرین	12 فولادهای ساختمانی + 0.50% C > 0.30% C	22 Cr-V, Cr-V-Si, Cr-V-Mn, Cr-V-Mn-Si	32 با کربلت
03 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	93 < 0.10% C	13	23 Cr-Mo, Cr-Mo-V	33 بدون کربلت
04 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	94 $\geq 0.10 < 0.30\% C$	14	24 W, Cr-W	34 مقاوم در برابر سایش
05 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	95 $\geq 0.30 < 0.60\% C$	15 درجه I	25 W-V, Cr-W-V	35 فولادهای پلیمرنگ
06 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	96 $\geq 0.60\% C$	16 فولادهای ابزار سازی درجه II	26 W باستانی ردیف 24, 25, 27	36 بدون کربلت با کربلت و گیتارهای با خواص منطقی
07 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	97 با محتوای زیاد فسفر یا گوگرد P, S	17 فولادهای ابزار سازی درجه III	27 نیکل دار	37 گیتارهای با خواص منطقی
08 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	98 < 0.30% C	18 مخصوص	28 دیگر آلیاها	38 بدون نیکل
09 فولادهای ساختمانی عسوس غیر کربنی تا 0.30% C	99 $\geq 0.30\% C$	19	29	39 با نیکل

فولادهای نجیب				
فولادهای نجیب آلیاژی				
مواد مقاوم در مقابل عوامل شیمیایی	فولادهای ساختمانی			
40 فولادهای ضد زنگ با $< 2,0\% \text{ Ni}$ بدون مولیبدن و سایر عناصر	50 Mn, Si, Cu	60 Cr-Ni $\geq 2,0 < 3,0\% \text{ Cr}$	70 Cr	80 Cr-Si-Mo, Cr-Si-Mn-Mo, Cr-Si-Mo-V, Cr-Si-Mn-Mo-V
41 فولادهای ضد زنگ با $< 2,0\% \text{ Ni}$ با مولیبدن و بدون سایر عناصر	51 Mn-Si, Mn-Cr	61	71 Cr-Si, Cr-Mn, Cr-Si-Mn	81 Cr-Si-V, Cr-Mn-V
42	52 Mn-Cu, Mn-V, Si-V, Mn-Si-V	62 Ni-Si, Ni-Mn, Ni-Cu	72 Cr-Mo $< 0,35\% \text{ Mo}$	82 Cr-Mo-W, Cr-Mo-W-V
43 فولادهای ضد زنگ با $\geq 2,0\% \text{ Ni}$ بدون مولیبدن و سایر عناصر	53 Mn-Ti, Si-Ti, Mn-Si-Ti, Mn-Si-Zr	63 Ni-Mo, Ni-Mo-Mn, Ni-Mo-V, Ni-V-Mn, Ni-Cu-Mo	73 Cr-Mo $\geq 0,35\% \text{ Mo}$	83
44 فولادهای ضد زنگ با مولیبدن و بدون سایر عناصر	54 Mo به انضمام Mn, Si, Nb, Ti, V, W, Cr-W, Cr-V-W	64	74	84 Cr-Si-Ti, Cr-Mn-Ti, Cr-Si-Mn-Ti
45 فولادهای ضد زنگ با سایر عناصر	55	65 Cr-Ni-Mo $< 0,4\% \text{ Mo} + < 2,0\% \text{ Ni}$	75 Cr-V $< 2,0\% \text{ Cr}$	85 فولاد نیتروژنه
46	56 Ni	66 Cr-Ni-Mo $< 0,4\% \text{ Mo} + \geq 2,0 < 3,5\% \text{ Ni}$	76 Cr-V $\geq 2,0\% \text{ Cr}$	86
47 فولادهای مقاوم به خوردگی با $< 2,0\% \text{ Ni}$	57 Cr-Ni $< 1,0\% \text{ Cr}$	67 Cr-Ni-Mo $< 0,4\% \text{ Mo} + \geq 3,5 < 5,0\% \text{ Ni}$ oder $\geq 0,4\% \text{ Mo}$	77 Cr-Mo-V	87
48 فولادهای مقاوم به خوردگی با $\geq 2,0\% \text{ Ni}$	58 Cr-Ni $\geq 1,0 < 1,5\% \text{ Cr}$	68 Cr-Ni-V, Cr-Ni-W, Cr-Ni-V-W	78	88 آلیاژهای سخت
49 مواد مقاوم در دمای بالا	59 Cr-Ni $\geq 1,5 < 2,0\% \text{ Cr}$	69 Cr-Ni بجز ردیف 57 bis 68	79 Cr-Mn-Mo, Cr-Mn-Mo-V	89

۳- ۴- ۱۰- اعداد ضمیمه: رقم ششم، شماره مواد فرآیند تهیه فولاد و رقم هفتم، وضعیت عملیات حرارتی آن را مشخص می کند. در زیر مفاهیم رقم ششم را مشاهده می کنید.

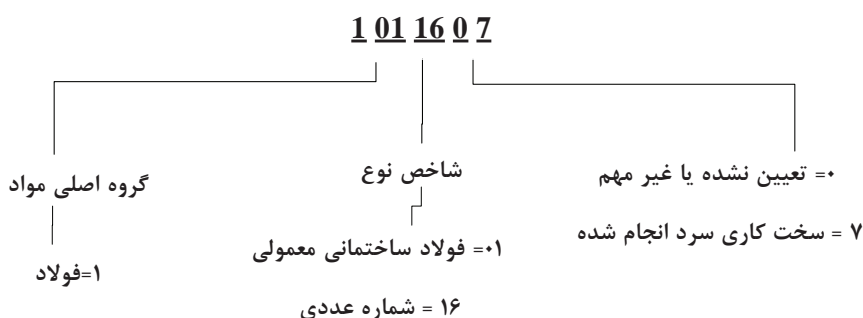
شماره	مفهوم
۰	تعیین نشده یا غیر مهم
۱	فولاد ناآرام توماس
۲	فولاد آرام توماس
۳	نوع دیگر ذوب، نا آرام
۴	نوع دیگر ذوب، آرام
۵	فولاد ناآرام زیمنس- مارتین
۶	فولاد آرام زیمنس- مارتین
۷	فولاد ناآرام تهیه شده با روش L-D (دمش اکسیژن)
۸	فولاد آرام تهیه شده با روش L-D (دمش اکسیژن)
۹	فولاد تهیه شده در کوره قوس الکتریکی

مفهوم اعداد رقم هفتم شماره مواد به قرار زیر است:

شماره	مفهوم
۰	بدون عملیات حرارتی
۱	آنیل نرمال شده است.
۲	آنیل نرم شده است
۳	عملیات حرارتی برای اصلاح قابلیت براده برداری انجام شده است
۴	به سازی برای افزایش چقرمگی
۵	به سازی برای افزایش مقاومت کششی انجام شده است
۶	به سازی برای افزایش سختی انجام شده است

- ۷ سخت کاری سرد انجام شده است
- ۸ سخت کاری سرد با سختی فنری انجام شده است
- ۹ عملیات حرارتی طبق داده های خاص انجام شده است

مثال ۱:



مثال ۲: شماره مواد را برای فولاد ۲-۳۷ St، فولاد آرام، زیمنس مارتین و آنیل نرمال را به دست آورید.

پاسخ:

۱. ۰۰ ۳۷. ۶۱

۵-۱۰- نرم بندی فولادها طبق استاندارد اروپا

در استاندارد اروپا، انواع فولادها به سه گروه: فولادهای پایه، فولادهای کیفی و فولادهای نجیب تقسیم شده است.

۱-۵-۱۰- فولادهای پایه: فولادهایی هستند که خواص کاربردی مخصوصی از آنها انتظار نمی رود و حداکثر مقدار کربن در آنها ۰/۱ درصد در نظر گرفته شده است. عملیات حرارتی روی آنها مشخص نبوده و حداقل استحکام کششی آنها ۶۹۰ نیوتن بر میلیمتر مربع است.

۲-۵-۱۰- فولادهای کیفی: فولادهای کیفی فولادهایی هستند که با توجه به

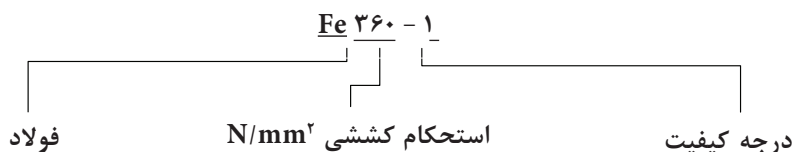
کیفیت سطحی زمینه و غیر حساس بودن در مقابل شکنندگی، هنگام تولید دقت زیادی را طلب می کنند؛ مانند فولادهای غیر آلیاژی جهت به سازی و سخت کاری سطحی، فولادهای قابل جوشکاری، فولادهای قابل تغییر شکل سرد و گرم، ورقهای کشش عمیق، فولادهای اتومات، فولادهای آلیاژی دانه ریز، فولادهای سیلیسیم و منگنز دار و فولادهای مقاوم به سایش.

۳-۵-۱۰- فولادهای نجیب: فولادهایی که روی آنها با دقت زیاد کار شده است و هنگام عملیات حرارتی در تمام نقاط آنها خواصی یکسان به وجود آمده است، فولادهای نجیب به شمار می آیند؛ مانند فولاد غیرآلیاژی جهت به سازی یا سخت کاری سطحی، فولادهای ابزار و تمام فولادهایی که جزو فولادهای آلیاژی نیستند.

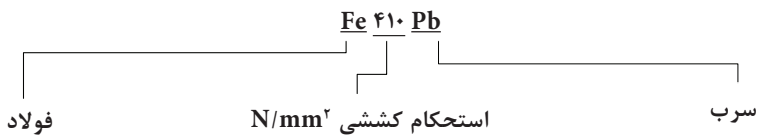
۴-۵-۱۰- نرم بندی فولادها برحسب خواص مکانیکی: در این روش، علائم اختصاری با حروف قراردادی آغاز می شود و سپس عدد مربوط به استحکام کششی یا تنش تسلیم برحسب نیوتن بر میلیمتر مربع قرار می گیرد. در پایان علامت، یک عدد درجه کیفیت آن را معرفی می کند.

حروف قراردادی	مفهوم
Fe	فولاد
FeG	فولاد ریختگی
FeE	فولاد مخصوص جوشکاری

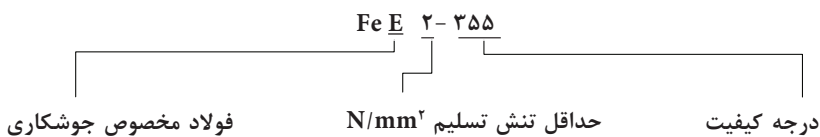
مثال ۱:



مثال ۲:



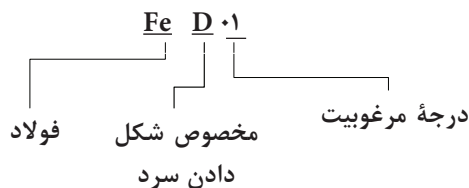
مثال ۳:



۵-۱۰-۵- نرم بندی فولادها بر اساس اهداف کاربردی: در این حالت، بعد از علامت نوع فولاد، حروفی قرار می گیرند که معرف ویژگیهای فولاد هستند. در صفحه بعد، حروف مشخصه، اهداف کاربردی و مفهوم آنها را مشاهده می کنید.

حروف مشخصه	مفهوم
M	خواص مغناطیسی ویژه برای ورق با دانه بندی مخصوص
P	مخصوص کشش عمیق
D	مخصوص شکل دادن سرد
R	مخصوص تولید لوله های جوشکاری یا پروفیل های سرد کار

مثال:

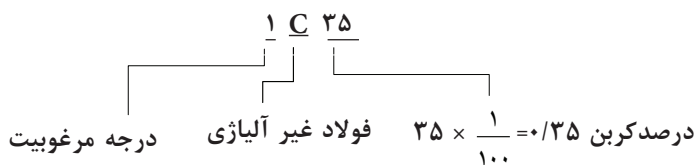


۵-۱۰-۶- نرم بندی فولاد بر اساس کیفیتهای مخصوص: در زیر حروف مشخصه مربوط به کیفیتهای مخصوص مفهوم آنها داده شده است.

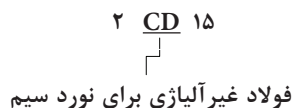
بر اساس نوع دی اکسیداسیون		
حروف	مفهوم	مثال
FU	فولاد ناآرام	
FN	فولاد آرام	Fe ۴۲۰ - ۲ FN
FF	فولاد آرام مخصوص	
بر اساس خواص کاربردی ویژه		
FD	مخصوص شکل دادن سرد	
KZ	مخصوص کشش	
KW	مخصوص کاردر دماهای بالا	Fe ۳۶۰ - ۱ KW
بر اساس نوع سطح		
MB	عملا بدون عیب	FeP۰.۳ MB RP
RM	مات	
RL	صاف	FeP۰.۳ RL
RN	براق	
بر اساس نوع تغییر شکل		
HK	تغییر شکل سرد	Fe ۵۰۰ - ۲ HK

تغییر شکل گرم	HW
بر اساس نوع عملیات حرارتی	
آنیل تنش زدایی	TA
آنیل نرم	TB
آنیل شده	TC
آنیل نرمال	TD
بهسازی شده	TF
Fe ۳۵۰ - ۳ TD	

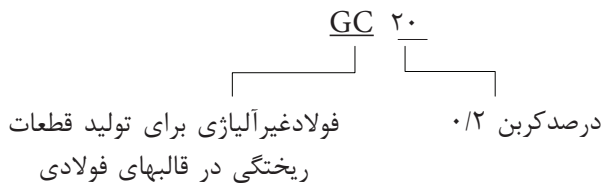
۷-۵-۱۰- نرم بندی فولادها بر اساس ترکیب شیمیایی: در زیر نمونه هایی از این نرم بندیها را مشاهده می کنید.
 - فولادهای غیرآلیاژی:
 مثال ۱:



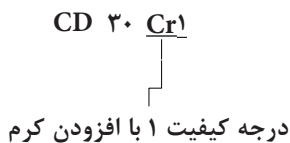
مثال ۲:



مثال ۳:

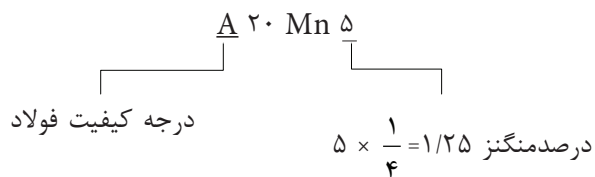


مثال ۴:

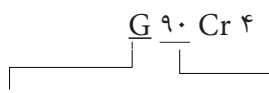


- فولادهای کم آلیاژ (مقدار هر عنصر آلیاژی کمتر از ۵ درصد): در علامت اختصاری فولادهای کم آلیاژ مقدار درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده آلیاژ، با در نظر گرفتن ضرایب جدول ۱-۸ به ترتیب از کم به زیاد نوشته می شود.

مثال ۱:

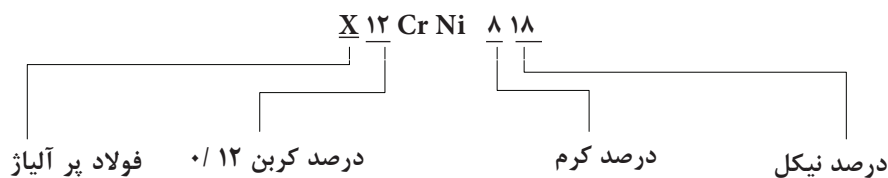


مثال ۲:



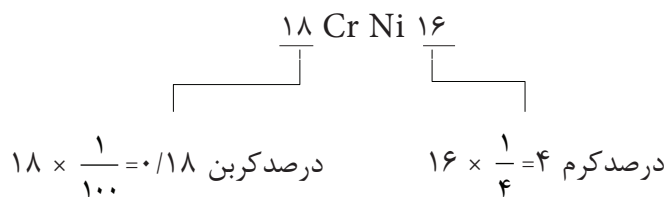
درصد کربن ۰/۹ مخصوص قطعات ریختگی در قالب فولادی

مثال ۳:



- فولادهای پر آلیاژ (مقدار هر عنصر آلیاژی بیش از ۵ درصد):

مثال :



۶-۱۰- نرم بندی فلزات غیرآهنی و آلیاژهای آنها^۱

۱-۶-۱۰- نرم بندی فلزات غیرآهنی

علامت مشخصه فلزات غیرآهنی خالص، علامت اختصاری شیمیایی آنها و یک عدد است.

درجه خلوص آنها برحسب درصد و به وسیله یک عدد نشان داده می شود.

- مثال:

Al ۹۹	Zn ۹۹.۹۹	Sn ۹۸	Pb ۹۸.۵
آلومینیم با درجه خلوص ۹۹	روی با درجه خلوص ۹۹/۹۹	قلع با درجه خلوص ۹۸	سرب با درجه خلوص ۹۸/۵

در نرم بندی فلزات غیرآهنی، مس یک استثناست و درجه خلوص آن به جای اعداد با حروف A تا F نشان داده می شود. A معرف کمترین درجه خلوص (۹۹ درصد) و F معرف بیشترین درجه خلوص (۹۹/۹ درصد) است. مانند KE - Cu که معرف مس کاتدیک الکترولیزی با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد است و در مصارف الکتریکی با هدایت الکتریکی عالی مورد استفاده دارد.

در جدول ۶-۱۰ علامت مشخصه، درصد خلوص و مورد استفاده نمونه هایی از مس را مشاهده می کنید.

۷-۱۰- نرم بندی آلیاژهای فلزات غیرآهنی

آلیاژهای فلزات غیرآهنی به دو گروه آلیاژهای ریختگی و آلیاژهای خمیری تقسیم می شود. آلیاژهای ریختگی را می توان بخوبی ریخته گری کرد و با روشهای مختلفی مانند ریخته گری در قالب ماسه ای، ریخته گری گریز از مرکز و ریخته گری تحت فشار، فرم داد (شکل ۱-۱۰) آلیاژهای خمیری را می توان در حالت سرد یا گرم با روش بدون براده برداری فرم داد (شکل ۱-۱۰). از روشهایی که برای این منظور به کار می روند، می توان نوردکاری، پرس کردن (رانش)، کشیدن و فرم دادن در قالبهای فشاری را نام برد. از آلیاژهای

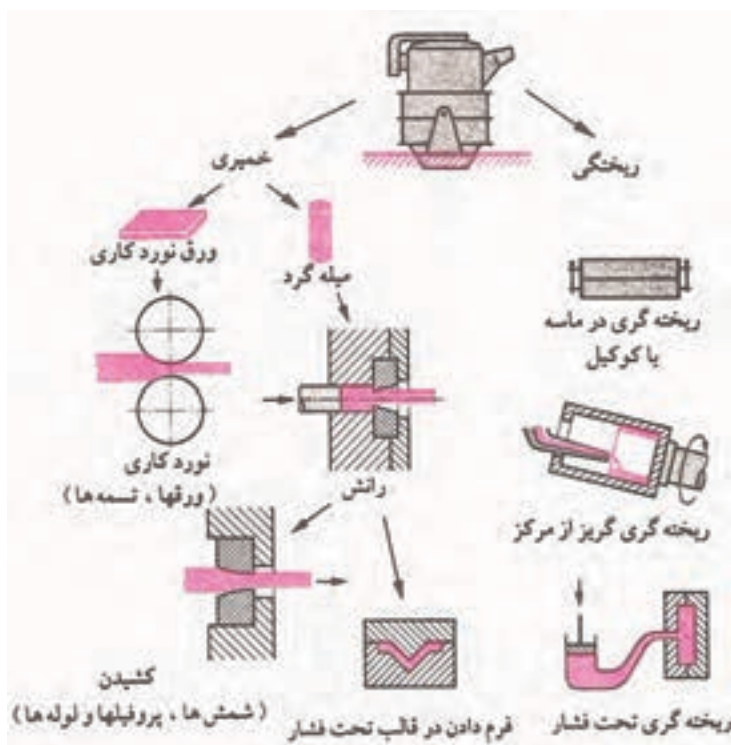
۱- طبق استاندارد (DIN ۱۷۰۰۱-۵۴)

خمیری، با استفاده از یکی از روشهای یاد شده می توان انواع نیمه ساخته ها را به فرم های شمش، میل، ورق، لوله و پروفیل تولید کرد.

جدول ۶-۱۰: علامت مشخصه، درصد خلوص و موارد استفاده مس

جدول ۶-۱۰: علامت مشخصه، درصد خلوص و موارد استفاده از مس			
موارد استفاده	درصد خلوص	انواع مس بدون اکسیژن	
لوله های آتش (تنوره سماور) اتگشتی ها ، ساختن دستگاههای برقی	۹۹/۰	SA — Cu	—
لوله هایی که در کشتی سازی به کار می روند .	۹۹/۲۵	SB — Cu	—
نیمه ساخته های غیر قابل جوشکاری ، لحیم کاری و ریخته گری	۹۹/۵	—	C — Cu
نیمه ساخته های قابل جوشکاری و لحیم کاری سخت ، قابلیت تغییر شکل در نوع بدون اکسیژن آن	۹۹/۸	SD — Cu	D — Cu
	۹۹/۹	SF — Cu	F — Cu
نوع اکسیژن دار برای تهیه نیمه ساخته های مورد مصرف در صنایع الکتریکی . نوع بدون اکسیژن برای تهیه قطعاتی که لازم است قابلیت جوشکاری ، هدایت و تغییر فرم خوبی داشته باشند .	۹۹/۹	SE — Cu	E — Cu

شکل ۱-۱۰: کاربرد آلیاژهای ریختگی و خمیری



علامتهایی که برای معرفی آلیاژهای فلزات غیرآهنی به کار می روند طبق دین ۱۷۰۰ شامل سه بخش عمده به شرح زیر هستند.

- . روش تولید و کاربرد
- . عناصر تشکیل دهنده
- . خواص ویژه

۲-۷-۱۰-علائم بخش عناصر تشکیل دهنده: در این بخش با استفاده از حروف عناصر تشکیل دهنده به کمک اعداد درصد وزنی آنها معرفی می شود مطابق جدول ۸-۱۰.

جدول ۸-۱۰

حروف مشخصه	مفهوم	مثال
Al	آلومینیم	Mg_3Al آلیاژ آلومینیم-منیزیم با ۳درصد منیزیم و بقیه آلومینیم $Al\ Si\ 10\ Mg$ آلیاژ آلومینیم، سیلیسیم با ۱۰ درصد سیلیسیم مقدار کمی منیزیم و بقیه آلومینیم
Cu	مس	
Fe	آهن	
Pb	سرب	
Sn	قلع	
Zn	روی	

۳-۷-۱۰-علائم بخش خواص ویژه: در این بخش، علائم وضعیت عملیات حرارتی، سختی یا حداقل استحکام کششی آلیاژ با قرار دادن حرف F قبل از عدد مربوط، آورده می شود مطابق جدول ۹-۱۰.

جدول ۹-۱۰

علائم وضعیت عملیات حرارتی و سختی	مفهوم	مثال
g	آنیل شده	
ku	تغییر شکل سرد	
wu	تغییر شکل گرم	
wa	پیر سختی گرم	
ka	پیر سختی سرد	
w	نرم	

<u>C- Cu h</u> سخت درجه خلوص ۹۹/۵	سخت	h
	کشیده شده	z
<u>Al ۹۹ wh</u> نورد شده آلومینیم با درجه خلوص ۹۹	نورد شده	wh
	پرس شده	p

مثال:

$$\frac{\text{Cu Zn } ۴۰ \text{ Pb } ۲}{\text{F } ۵۲}$$

= ۵۲۰ N/mm^۲ حداقل استحکام کششی

آلیاژ خمیری مس و روی (برنج) با ۴۰ درصد روی، ۲ درصد سرب و بقیه مس

در علامتگذاری سیستماتیک، نخستین رقم از سمت چپ شماره مواد، مربوط به اعداد مشخصه گروه اصلی مواد (جدول ۱۰-۱۰) و مفهوم آن به قرار زیر است:

۲- فلزات غیرآهنی سنگین

۳- فلزات سبک

شماره های شاخص نوع (رقم دوم و پنجم) ترکیبات، نوع و مقدار افزوده آلیاژ را معرفی می کند. رقم ششم نوع عملیات حرارتی و رقم هفتم مراحل انجام کاری را مشخص می کند که به وسیله عملیات حرارتی به دست آمده است.

جدول ۱۰-۱: شماره های مشخصه در علامتگذاری سیستماتیک فلزات غیر آهنی

شماره نوع	فلز اصلی	مکان 6	گروه عملیات حرارتی
2.0000...2.1799	مس	0	بدون عملیات حرارتی
2.2000...2.2499	روی، کادمیوم	1	گرم
2.3000...2.3499	سرب	2	سختکاری سرد نرم (سختکاری میانی)
2.3500...2.3999	قلم	3	سختکاری سرد (سختکاری و بالای آن)
2.4000...2.4999	نیکل و کبالت	4	آلی محلول سازی، بدون عملیات مکانیکی بعدی
2.5000...2.5999	فلزات خاکی	5	آلی محلول سازی، سختکاری سرد بعدی
2.6000...2.6999	فلزات با کمی ذوب بالا	6	سختکاری زمینی گرم، بدون عملیات مکانیکی بعدی
3.0000...3.4999	آلومینیوم	7	سختکاری زمینی گرم، ذلتکاری سرد بعدی
3.5000...3.5999	میزنیم	8	کشی، زدایی، بدون سختکاری سرد بعدی
3.7000...3.7999	تیتانیوم	9	عملیات حرارتی خاص (مثلاً آلی پایداری)

مثال: شماره کامل مواد پرآی NiCr 60 15 = سختکاری سرد با نورد و تنش زدایی شده: 2.4867.21

مراجع

- سایت دانشنامه رشد: daneshnameh.roshd.ir
- سایت شرکت فولاد مبارکه اصفهان: www.mobarakeh.com
- سایت شرکت ذوب آهن اصفهان: www.esfahansteel.com
- سایت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو: www.nano.ir
- اسمیت، ویلیام فورچن، «ساختار، خواص و کاربرد آلیاژهای مهندسی»، ترجمه علی اکبر اکرامی، مرتضی سیدریحانی، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، چاپ اول، ۱۳۸۳.
- تویسرکانی، حسین، «اصول علم مواد»، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ دوم ۱۳۸۰.
- اردشیر طهماسبی، «آلومینیم»، انتشارات جامعه ریخته گران ایران، چاپ اول اردیبهشت ۱۳۶۴
- پرویز دوامی- جلال حجازی، «درس فنی سال چهارم»، آموزش فنی ریخته گری، وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۶۴

- «The Making, Shaping and Treating of Steel», Editor: David H. Wakelin, 1999, The AISE Steel Foundation.

- M. F. Ashby, P. J. Ferreira, D. L. Schodek, «Nanomaterials, Nanotechnologies and Design», 2009, Elsevier.

- H. J. Quadbeck-Seeger, «World of the Elements Elements of the World», 2007, Wiley-VCH.

- Fathi Habashi, «Alloys Preparation, Properties, Applications», 1998, Wiley-VCH.

- Fathi Habashi, «Handbook of Extractive Metallurgy», 1997, Wiley-VCH.

- Alan M. Russell, Kok Loong Lee, «Structure- Property Relations in Nonferrous Metals», 2005, John Wiley & Sons.