پیش گفتار: صنعت فلز کاری

شواهـد و مـدارک باستانشناسی این نکـته را تـائیـد می کـند که شمال و مرکز ایران جزو قدیمی ترین مراکز صنایع فـلزکاری جهـان بوده است. آشکار است که بشر تـنهـا در سرزمینی می تـوانست به سودمندی فـلز پـی بـبرد که در آن فـلزات و کانیهـای آنهـا وجود داشته باشد. ایران از لحاظ طبیعی دارای ذخایر بزرگـی از کانـی ها است. در شمال ایران یک رشته معـادن مس از قـفـقاز تا پـامیر کشیده شده است. ابن حوقل، جغـرافی دان عـرب از مـعـادن مـس کـان صبـی زاوه، سبزوار و فـخـر داود نـزدیـک مشهـد و بخـارا در ماوراءالنهـر صحبت می کند. معادن مس کاشان، انارک، اصفهـان و بخـارا برای خلفای اسلامی مقارن قـرن نهـم مسیحـی بسیار با اهـمیت بود، زیرا از این معـادن هـر ساله بـیش از ۱۰۰۰۰ دینار خراج حاصل می گـردید.

می تـوانیم چـنین تصور کنیم که صنعـتگـران قـدیم برای به دست آوردن مس انواع سنگـهـای فـلزی را آزمایش کـرده اند و بـدین تـرتیب تصادفا آلیاژهـای مس را تولید کرده اند. در نیمه ی دوم هـزاره ی سوم پـیش از مسیح کاربرد فـلز رو به افـزایش گـذاشت. از گـورستان شوش، تپه حصار، تـپه گـیان و تـپـه گـئوی ابزار مفرغـی و زینت آلات مفرغی و نقـره ای زیاد به دست می آید. گـذار از عصر سنگ به مس بسیار تدریجی بود ولی در ایران عصر مفرغ در ۲۰۰۰ سال پـیش از مسیح بخوبی پـیشرفـت کرده بود.

بطوری که از روایات آشوریان برمی آید ایران در هـزاره ی اول پـیش از مسیح محل تهـیه فـلزات مخـتـلف بود. کاربرد روز افزون آهـن در هـزاره ی اول در بـنـیاد اقـتصادی جامعـه اثـر بسیاری داشت.

اگـر درباره مفرغ هـای لرستان، که در نواحی کوهـستان های باختری ایران است، مختصری گـفتگو نشود، شرحی که ما در بالا درباره مفرغ و آهـن ایران داده ایم، کامل نخواهـد شد. تـقـریـبا از سال ۱۹۳۰ به بعـد تعـداد زیادی اشیای فـلزی زیـبا در بازار عتیقه فروشان جهان ارائه می شد که توسط خاک برداران غیر مجاز قاچاق گورستان های قدیمی پـیدا شده بود، این عـده توجه کرده بودند که مقـبره هایی که دور و بر آنهـا 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 اشیا دارای حروف آشوری است که تاریخ و ساخت آن ها را کاملا مشخص می کند. چند تا از آنها متعلق به سده ی دوازدهم و دهم پیش از مسیح است، اما اکثرا 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 اشیا 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 اشیا 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 از سوی دیگر در آسیا تا مرزهای چین و هند کشیده شد. در عوض هنر ایرانی از سبکها و روش های کشورهایی 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 (۲۰۰۰۰ق 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)

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

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.

فصل اول

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

همهٔ 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 آهک، 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 هستندکه 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 ندا رند، ولی بیشتر آنها کاربرد فراوانی پیدا کرده ا ند 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 معادنی 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 طورکلی 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 می‌گویند 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 تبخیرآب 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 می‌کنند 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 ا قتصادی بودن استخراج کانسارها فعالیت هایی باید صورت گیرد که به آن عملیات پی جویی و اکتشاف می گویند. پی جویی در وا قع 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، ا بعاد 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 محلهای 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 وشکارچی 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. معمولا پیدا شدن قطعاتی از سنگ های معدنی در رسوبات یخچالی و واریزه کوه ها ونیز 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[1] 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 ازآنکه 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 نظرکرد.

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 مجددا 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 می‌یابد.

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.

۳-۱- 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 بیشتراست. 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 ۲-۱) 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.

الف

ب

شکل۲-۱- 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 آرایی 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 نسبتا 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 اکسکاواتور[۱] نام دارند استفاده می شود (شکل۳-۱). انواع مختلف اکسکاواتورها با ظرفیت های خیلی بالا کامیون و بیل مکانیکی در معادن روباز کاربرد فراوانی دارند.

۱- Excavator

الف ب

شکل۳-۱- الف- کامیون و بیل مکانیکی، ب- اکسکاواتور

۲-۳-۱- استخراج معادن زیرزمینی

در شرایطی که ماده معدنی در اعماق زمین واقع شده باشد استخراج آن به طریقه 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 ازآنکه 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 دویل می گویند حفر میشود وسپس 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 می‌یابند 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 می‌شوند.

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 می‌توان 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 ارابه های چال زنی، چال هایی در فواصل معین حفر می‌کنند و سپس این چال ها را با استفاده از مواد منفجره خرج گذاری و آتش کاری می‌کنند. انفجار مواد منفجره سبب تخریب سنگها و پیشروی تونل می شود. سنگ های کنده شده در کف کارگاه ریخته می شود و متعاقباً به وسیلهٔ تجهیزات بارگیری و حمل و نقل به بیرون معدن ا نتقال 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 (شکل۴-۱).

شکل۴-۱-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 سنگ‌ها و مواد باطله به کارخانه کانه آرایی منتقل گردد. حمل مواد معدنی به روش های مختلف امکان پذیر می‌باشد.

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

از آنجایی که مواد و سنگ‌های استخراج شده از معادن، عمده از مواد باطله تشکیل شده‌اند و کانی‌های مفید فقط درصد خیلی کمی از آن‌ها را تشکیل داده است، ضروری است

که اقداماتی به عمل آید تا مواد باطله (کانی‌ها وسنگ‌های 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 آرایی) می‌گویند. عملیات کانه آرایی در کارخانه های مجهزی که معمولا 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 آرایی 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، معمولا 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 مثلا تا حدود یک سانتی متر می‌رسند.

پس از آنکه سنگ ها به وسیله سنگ شکن خرد شدند لازم است که دانه بندی شوند، یعنی دانه های ریز و درشت از یکدیگر جدا شوند. بر حسب مورد مصرف، گاهی دانه های ریز و زمانی هم دانه های درشت مورد استفاده قرار میگیرند. برای دانه بندی از انواع غربال ها نظیر سرندهای ثابت، لرزان و گردان استفاده می شود. در مرحله آخر برای ریزتر و پودر کردن سنگ‌ها از آسیا استفاده می‌کنند (شکل۵-۱).

به‌طور کلی می‌توان برای تفکیک و جداسازی کانی ها از مشخصات فیزیکی، مکانیکی و یا شیمیایی آنها استفاده کرد. حال کانی های 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 وشیمیایی 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.

شکل۵-۱- 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[1] 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 وگسترده ترین روش های جداسازی ماده معدنی و مواد باطله و در عین حال از دقیق ترین روش های پرعیار کردن مواد معدنی است، که علاوه بر اکثر سنگ های معدنی فلز ی بسیاری از کانی های غیرفلزی و زغال سنگ را می توان به کمک آن پرعیار 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 می‌گردد. 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 می‌روند.

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]

۱-۷-۱- خشک کردن

عبارت است از گرفتن رطوبت و آب تبلور ماده معدنی تا اندازه‌ای که ورود آن به کوره سبب تاخیر عملیات ذوب نشود. ساده‌ترین طریقه خشک کردن به این طریق است که مواد را روی سطحی پهن می‌کنند و از زیر به وسیله جریان هوای داغ یا آتش ملایم آن را حرارت می‌دهند. استفاده از دستگاه‌های خشک کن در انواع مختلف امروزه کاربرد فراوانی پیدا کرده است. انواع این دستگاه‌ها، با توجه به چگونگی رفتار ماده معدنی و خواص فیزیکی و شیمیایی آن، در کارخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۷-۱- تکلیس

برای جداکردن دی اکسید کربن از مواد معدنی کربناته، عملیاتی به نام تکلیس روی آن‌ها انجام می‌دهند. در این عملیات با حرارت دادن (حرارت‌های بیشتر نسبت به عملیات

۱- Drying

۲- Calcination

۳- Roasting

۴- Agglomaration

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

$$MCO_3 \rightarrow MO + CO_2(\text{گاز})$$

(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

هنگامی‌که 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 کوره های ذوب به کار برد. لذا باید آنها را به شکل کلوخه، گلوله و یا حبه هایی تبدیل کرد که به این عمل آگلومراسیون می‌گویند. دراین عملیات کلوخه ها 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 واکنش های بهتر باعث افزایش راندمان کوره بلند به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌گردد. همچنین این عمل مصرف کک را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد.

خودآزمایی:

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.

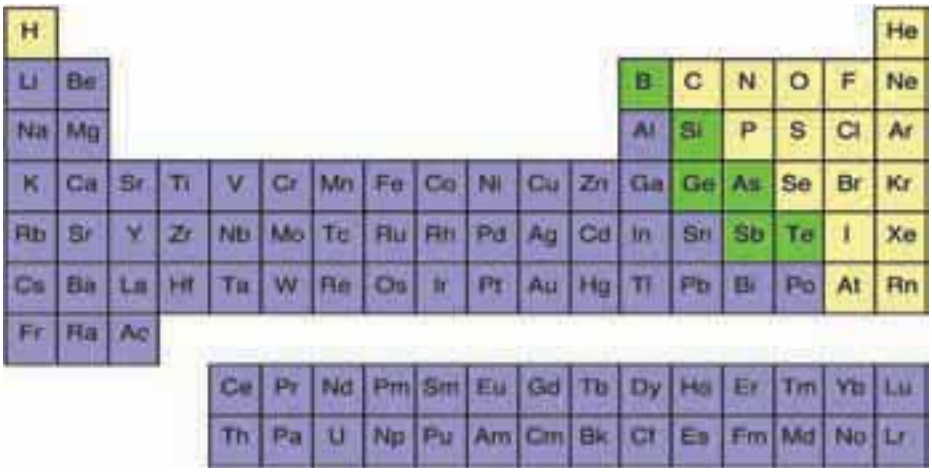
۱۱- عملیات تکلیس به چه منظوری صورت می گیرد و تفاوت آن با عمل خشک کردن چیست؟

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



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 وکشف بعضی از عناصر بسیار مهم بود.

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

فصل دوم

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 معمولا 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 نشانه‌های استفاده از آهن به زمان سومریان و مصریان بر می‌گردد که تقریبا 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 فزاینده ای 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 به‌حساب 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 می شد. 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 می کردند. سپس سرباره آنرا با چکش‌کاری جدا نموده و کربن موجود در آهن را اکسیده می‌کردند تا بدین طریق آهن نرم تولید کنند.

مردم خاور میانه دریافتند 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 شکل های 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 دمنده های بزرگ و ایجاد دمش فراوان استفاده شد. به همین ترتیب ابعاد کوره های ذوب آهن نیز افزایش یافت. هم زمان با استفاده از نیروی آب، کشف تولید غیرمستقیم دو مرحله ای فولاد تحول اساسی در ذوب آهن ایجاد کرد. این روش امروزه هم به کار می رود. در مرحله اول آهن خام مذاب با محتوای زیاد کربن در کوره بلند تولید می شود. در مرحله دوم در کوره اصلاح ترکیب شیمیایی، آهن خام کربن زدایی و به فولاد تبدیل می شود.

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 ویلهیم 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[1] وآهک 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 ازسنگ 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	$2Fe_2O_3,3H_2O$	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 آ هن: اگر سنگ معدن آهن استخراج شده ازمعدن مستقیماً وارد کوره شود، در کار ذوب و تصفیه اختلالات فراوانی ایجاد می‌کند و از نظر اقتصادی نیز مقرون به

۱- مخلوط ذرات ریز کانی آهن (کمتر از ۱۰ میلیمتر) 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. مثلا قطعات بزرگ سنگ معدن دیرتر ذوب می شوند و عمل تصفیه را به تأخیر می اندازند؛ همچنین خاکه ها وپودرها 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 می‌شود. ارتفاع کوره های بلند ۳۰ تا ۸۰ متر بوده که قطر بزرگترین قسمت آن، از ۱۰ تا ۱۴ متر می باشد.

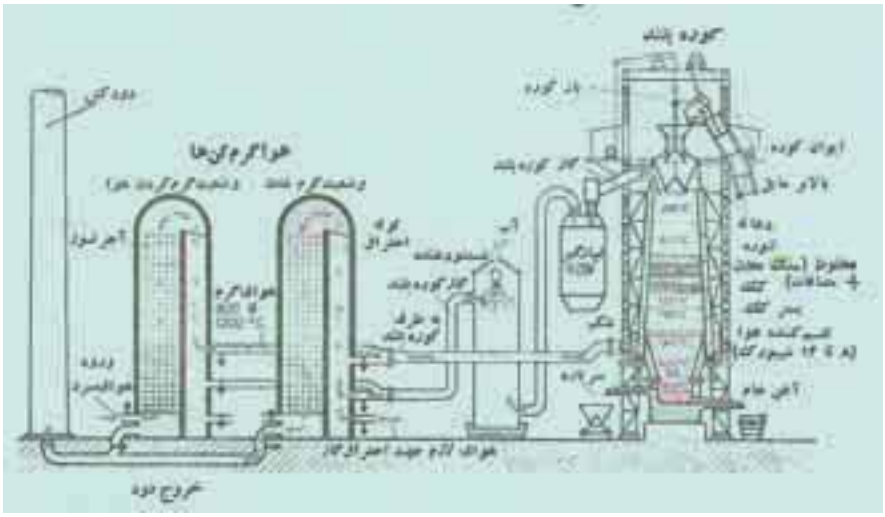
قسمت پایینی کوره، استوانه ای شکل و به بوته معروف است؛ در این محل مواد مذاب و سرباره جمع می شود. بوته معمولاً دارای دو محل خروجی است که یکی در بالا، برای خروج سرباره و دیگری در قسمت پایین، برای خروج آهن خام مذاب در نظر گرفته شده است. در اطراف قسمت بالای بوته، کانال هایی وجود دارند که از آنها هوای گرم (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، مجددا مسدود می گردد.

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

هر کوره بلند معمولا دارای ۴ واحد گرم کن هوا می باشد که متناوبا برای گرم کردن هوای ورودی کوره، مورد استفاده قرار می گیرند. خود این گرم کن ها را نیز به وسیله گازهای متصاعد شده قابل اشتعال، از کوره بلند و یا گاز کک سازی می توان گرم نمود. از آنجا که همراه گاز خروجی از کوره بلند، گرد و غبار و ذرات ریز سنگ معدن آهن، کک و یا آهک وجود دارد، ابتدا باید ذرات را بوسیله جداکننده ها از یکدیگر تفکیک کرد. ذرات تفکیک شده را معمولا برای استفاده مجدد به قسمت کلوخه سازی می برند و از گاز باقیمانده که حاوی مقدار زیادی منواکسیدکربن می باشد، برای مصارف حرارتی استفاده می کنند. شکل های ۱-۲ و ۲-۲ تأسیسات کوره بلند را نشان می دهند.

شکل ۱-۲- نمای تاسیسات یک کوره بلند



شکل۲-۲- تاسیسات کوره بلند

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 تامین 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 تامین می گردد.

شارژ کوره بلند: پس ا ز آماده کردن سنگ معدن آهن، کلوخه، کک و آهک، آنها را با نسبت های معینی، به صورت لایه لایه از بالای کوره به دا خل 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 قبلا 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، ۱۰۸۲کیلوگرم کلوخه،۱۲/۲ کیلوگرم آهک و مواد

گدازآور 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.

فعل و انفعالات مربوط به سوختن کک

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$
$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

احیاء CO۲

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

احیاء سنگ معدن آهن

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$$
$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$$

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.

$$3Fe + C \rightarrow Fe_3C$$

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 احیاءشدن 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.

احیاء اکسید آهن $FeO+C \rightarrow Fe+CO\uparrow$

تشکیل Fe۳C $۳Fe+C \rightarrow Fe_3C$

پیدایش سرباره $CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$ ، $CaO+SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

$۳Fe_2O_3+CO \rightarrow ۲Fe_3O_4+CO_2$
$CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$
$Fe_3O_4+CO \rightarrow ۳FeO+CO_2$

$CO_2+C \rightarrow ۲CO$
$FeO+CO \rightarrow Fe+CO_2$

$۲C+O_2 \rightarrow ۲CO$
$FeO+C \rightarrow Fe+CO\uparrow$
$۳Fe+C \rightarrow Fe_3C$

$CaO+SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

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 ا نجام 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 قرا ر 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 سردشدن، آهن خام به صورت شمش های با مقطع ذوزنقه 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 (شبیه پشم شیشه)، کود شیمیایی و زیرسازی جاده ها استفاده می کنند.

گاز کوره بلند: این گاز مخلوطی ازگازهای مختلف مانند دی اکسیدکربن، منواکسیدکربن، متان، هیدروژن و ازت است که درهنگام خروج از کوره بلند، ذرات معلقی نیز به همراه دارد. گاز خروجی از کوره بلند را پس از عبوردادن 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 ۴-۲ رابطه بین مواد شارژ و محصولات کوره بلند را نشان میدهد.

شکل ۴-۲ 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 از۲۰ 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[1] 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 (شکل۵-۲).

شکل۵-۲- 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 چهارتائی 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 تا۲۵ 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.

$$CH_4 + CO_2 \xrightarrow{\text{دما ۱۲۰۰ درجه}} 2CO + 2H_2$$

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 بخارآب تبدیل می شوند و از قسمت بالای کوره خارج می شوند (شکل ۶-۲).

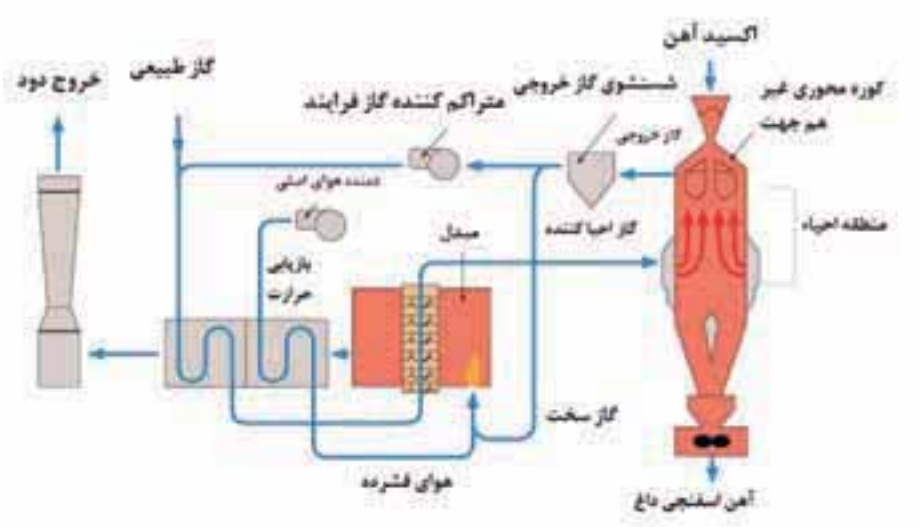
احیای سنگ معدن آهن در روش مستقیم با مجموعه واکنش هایی به صورت زیر انجام می شود:

$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$ $\quad$ $3Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow 2Fe_3O_4 + H_2O$

$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$ $\quad$ $Fe_3O_4 + H_2 \rightarrow 3FeO + H_2O$

$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$ $\quad$ $FeO + H_2 \rightarrow Fe + H_2O$

$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe \rightarrow Fe_3C$



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 مجددا به منو اکسید کربن و هیدروژن تبدیل می شود و دوباره وارد کوره می شود.

$\frac{۱}{۳}$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 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 (شکل۷-۲).

شکل۷-۲-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.

فصل چهارم

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

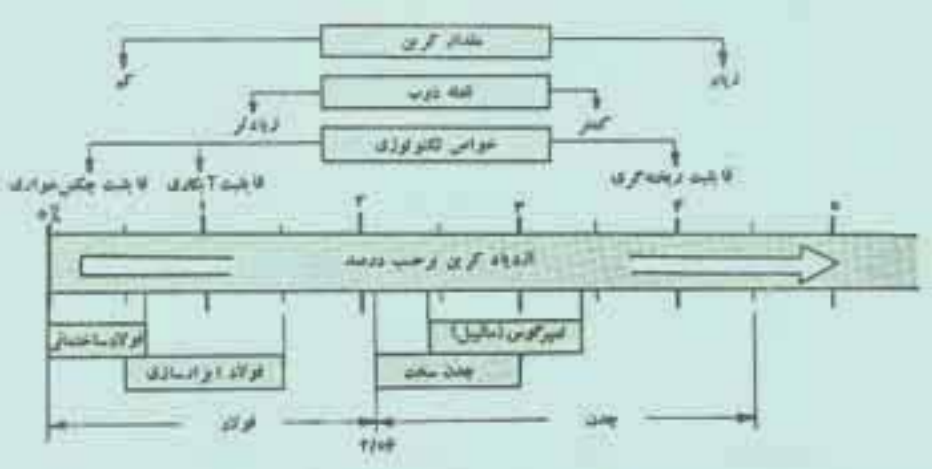
فولادها و چدن ها، آلیاژهایی از آهن و کربن هستند که عناصر دیگری (نظیر منگنز، سیلیسیم، گوگرد و فسفر) نیز به همراه دارند. در این میان کربن نقش مهمی دارد و مقدار آن تعیین کننده ی قسمت اعظم خصوصیات آنها (قابلیت عملیات حرارتی، آبکاری[۱]، ریخته گری، افزایش استحکام و غیره) است.

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:

۱-۱-۴- 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 دلومیت[۱] ساخته می شود. دلومیت ماده ای دیرگداز است که از کربناتهای 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 می‌آورند 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.

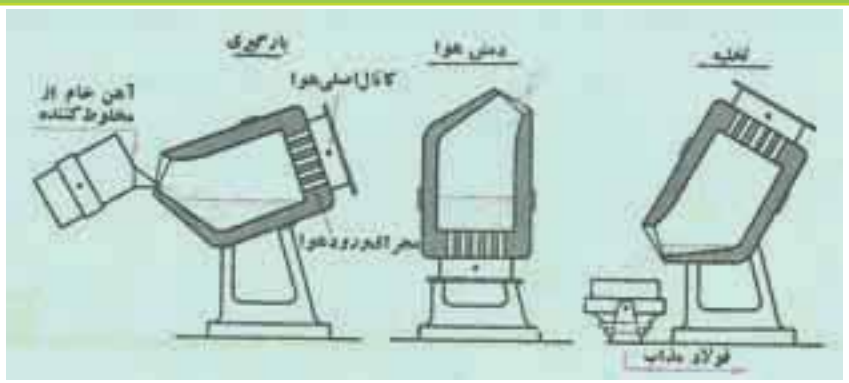
دمیدن هوا از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه ادامه می یابد و این عمل باعث می شود، که در هنگام اکسید شدن عناصر اضافی، درجه حرارت آهن خام مذاب از ۱۳۰۰ درجه به ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کند.

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 ۰/۰۵ 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

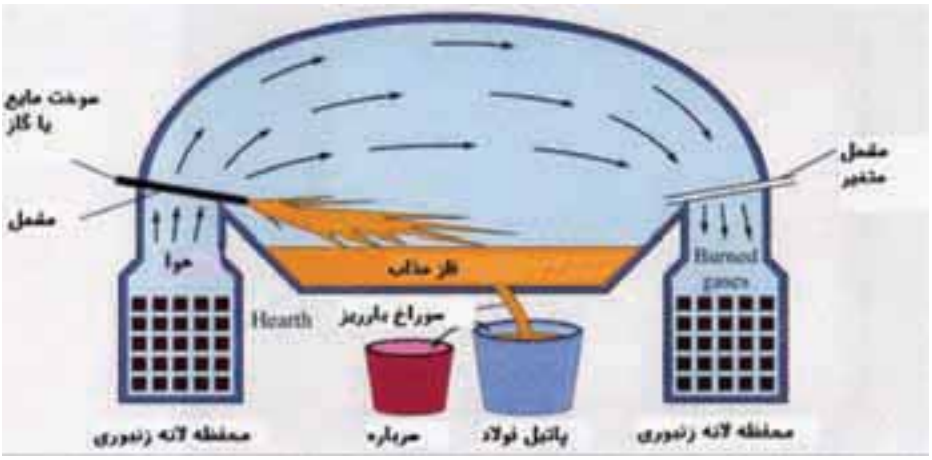
۲-۱-۴- روش زیمنس- مارتین: در این روش آهن خام را به صورت مذاب و یا جامد به همراه آهن قراضه و سنگ معدن آهن از طریق دریچه های متعددی که روی دیواره کوره وجود دارد، به داخل آن می ریزند و برای تصفیه ناخالصیها، آهک نیز به آن اضافه می کنند. مزیت عمده این روش در استفاده زیاد از آهن قراضه است.

در کوره زیمنس- مارتین برای تولید حرارت، از سوختهای 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

موارد روش القایی اقتصادی تر است این روش کنار گذاشته شده است. شکل ۳-۴ تهیه فولاد با روش زیمنس- مارتین را نشان می دهد.



شکل ۳-۴- تهیه فولاد با روش زیمنس- مارتین

پوشش دیرگداز داخلی نسوز این کوره ها نیز مانند کنورتورها برحسب نوع مواد مذاب، ممکن است که اسیدی و یا قلیایی انتخاب شود.

فولادی که از این روش بدست می آید فولاد زیمنس- مارتین (SM) نام دارد. با روش زیمنس- مارتین می توان فولادهای غیرآلیاژی و یا آلیاژی تهیه کرد. برای تهیه فولادهای آلیاژی می توان عناصری مانند کرم، نیکل، وانادیم را در کوره زیمنس- مارتین ذوب و با فولاد آلیاژ کرد. این فولادها استحکام و سختی زیادتری دارند و در مقابل خوردگی نیز مقاوم هستند.

فولاد غیرآلیاژی (کربنی) زیمنس- مارتین قابلیت چکش خواری و جوشکاری دارد و چنانچه مقدار کربن آنها بیشتر از ۰/۵ درصد باشد قابلیت عملیات حرارتی نیز دارند.

۳-۱-۴- روش کوره دمش اکسیژن (L-D): از آنجا که وجود ازت در فولادهای کم کربن باعث افزایش شکنندگی آنها در هنگام تغییر شکل سرد[1] می شود، بنابراین در

۱- تغییر شکل در درجه حرارت محیط

روشهای جدید تهیه فولاد، روش دمش اکسیژن یکی از اقتصادی ترین آنها است، به جای هوا که در حدود $\frac{۴}{۵}$ 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 وسیلهٔ 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.

$$۲Fe + O_۲ \rightarrow ۲FeO$$

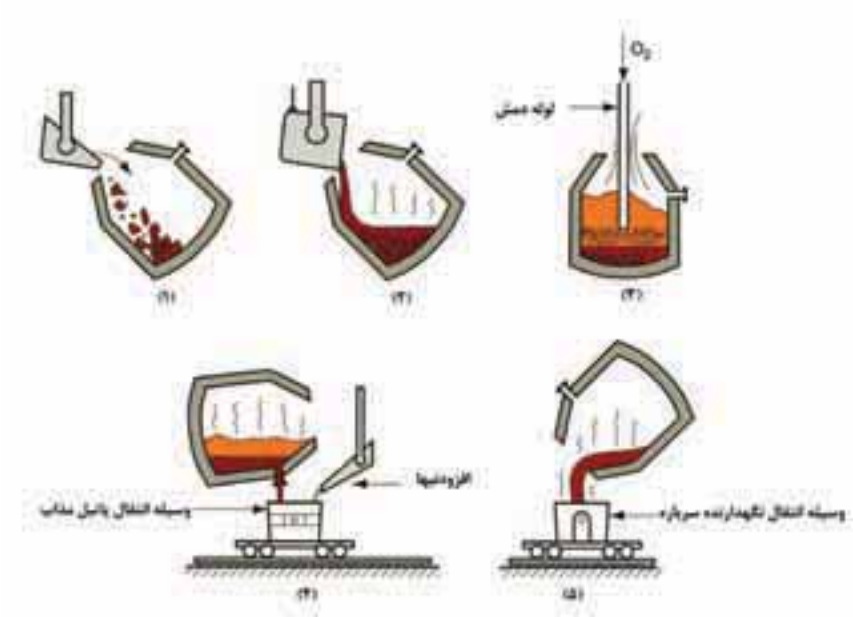
$$FeO + C \rightarrow Fe + CO$$

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 ازسوختن 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.



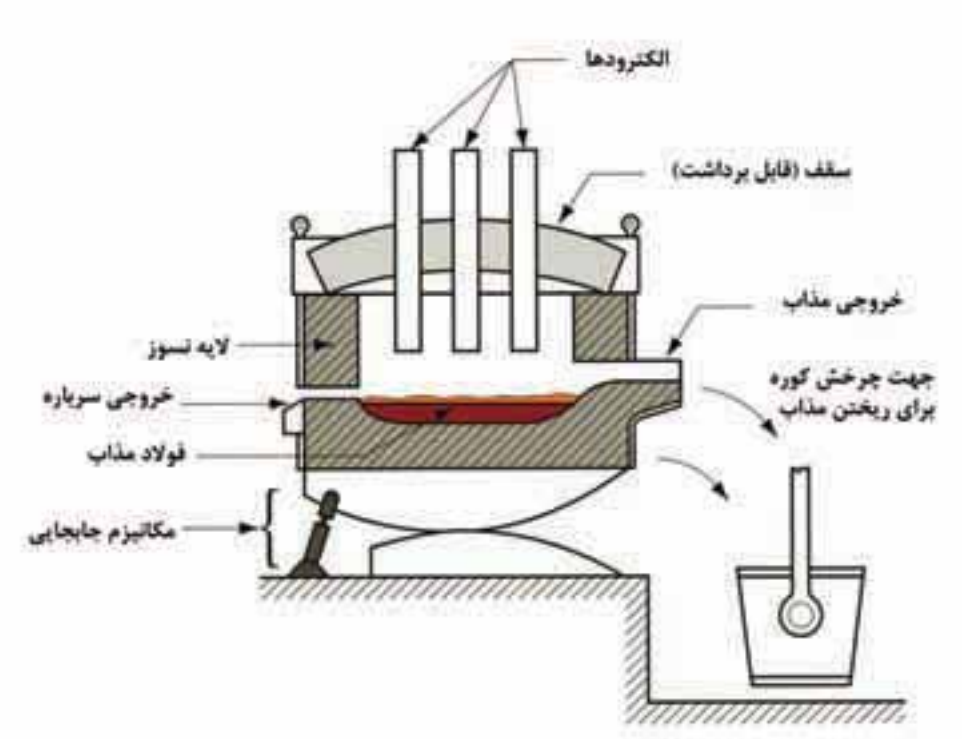
شکل ۴-۴- کوره دمش اکسیژن.
(۱) بارگیری قراضه، (۲) مذاب آهن خام، (۳) دمش اکسیژن، (۴) تخلیه فولاد مذاب، (۵) تخلیه سرباره

۴-۱-۴- کوره قوس ا لکتریکی: کوره های قوس الکتریکی مدرن معمولا با جریان برق سه فاز کار می کنند و سه الکترود گرافیتی دارند که در اثر عبور جریان برق از الکترودها (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 ۵-۴ تهیه فولاد با روش قوس الکتریکی را نشان می دهد. چون کوره قوس الکتریکی

نسبتا 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 تقریبا تمام فولادهای ابزارسازی آلیاژی را با این روش تولید می کنند.



شکل ۵-۴- تهیه فولاد با روش قوس الکتریکی

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