بسم الله الرحمن الرحیم

متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی

رشتهٔ صنایع فلزی

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی‌وحرفه‌ای

شمارهٔ درس ۱۷۱۲

۶۶۹
۲۲۷ م
۱۳۹۵

متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی / مؤلفان : امیدگل محله، محمود پارسا. -- [ویرایش دوم] / بازسازی و تجدید نظر : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ صنایع فلزی. ــ تهران : شرکت چاپ و نشرکتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.

۱۹۶ ص. : مصور. ــ (آموزش فنی وحرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۱۷۱۲)

متون درسی رشتهٔ صنایع فلزی، زمینهٔ صنعت.

برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ صنایع فلزی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.

۱. متالورژی. ۲. مواد صنعتی. الف. گل‌محله، امید. پارسا، محمود. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی وتألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ صنایع فلزی. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۹۵

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهـادات و نـظرات خود را دربـارهٔ محتـوای این کـتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف‌کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار(ایمیل) tvoccd@roshd.ir

وب‌گاه (وب‌سایت) www.tvoccd.medu.ir

این کتاب با توجه به نظرها و پیشنهادهای هنرآموزان محترم رشتهٔ صنایع فلزی در اسفندماه ۱۳۸۹ مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت.

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت برتألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **متالورژی عمومی‌و شناخت مواد صنعتی ـ ۴۸۷**

مؤلفان : **محمود پارسا، امید گل محله**

اعضای کمیسیون تخصصی : **نصرالله بنی‌مصطفی‌عرب، علی شاهدی، آرش حبیبی، حسن ضیغمی، مهدی فردی، محمدرضا کرمانشاه و بهرام زارعی**

ویراستار فنی : **علی شاهدی، عماد عمرانی**

ویراستار ادبی : **علیرضا حبیبی**

آماده‌سازی و نظارت برچاپ وتوزیع : **ادارهٔ کل نظارت برنشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش(شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : **لیدا نیک‌روش**

طراح جلد : **نسرین اصغری**

صفحه‌آرا : **خدیجه محمدی**

حروفچین : **زهرا ایمانی نصر**

مصحح : **حسین چراغی، علیرضا ملکان**

امورآماده‌سازی خبر : **زینت بهشتی‌شیرازی**

امور فنی رایانه‌ای : **حمید ثابت کلاچاهی،فاطمه رئیسیان فیروزآباد**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر۱۷جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)**

تلفن : ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق‌پستی :۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

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

سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ ششم ۱۳۹۵**

حق چاپ محفوظ است.

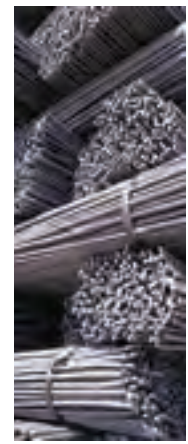
شابک ۴- ۱۸۷۹- ۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1879-4

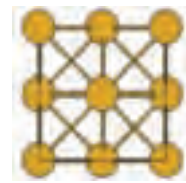
از شماست که مردان و زنان بزرگ تربیت می شود. شما ها در تحصیل کوشش کنید که برای فضایل اخلاقی، فضایل اعلای مجهز شوید. شما برای آتیه مملکت ما جوانان نیرومند تربیت کنید. دامان شما یک مدرسه ای است که در آن جوانان بزرگ تربیت بشود. شما فضایل تحصیل کنید تا کودکان شما در دامان شما به فضیلت برسند.

(امام خمینی (ره))

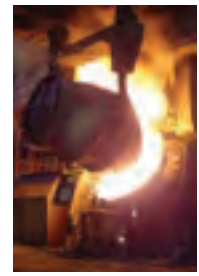
فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : آشنایی با مواد صنعتی	۱
۱ــ۱ــ ضرورت شناخت مواد صنعتی	۲
۱ــ۲ــ دسته‌بندی مواد جامد صنعتی	۶
۱ــ۲ــ۱ــ فلزات	۶
ــ فلزات آهنی	۷
ــ فلزات غیرآهنی	۱۰
۱ــ۲ــ۲ــ غیرفلزات	۱۱
ــ پلیمرها	۱۱
ــ سرامیک‌ها	۱۶
ــ کامپوزیت‌ها	۱۹
۱ــ۳ــ نانو مواد	۲۱
فصل دوم : روش‌های استخراج فلزات	۲۴
۲ــ۱ــ آشنایی با فرآیندهای استخراج فلزات	۲۵
۲ــ۲ــ استخراج آهن	۲۵
۲ــ۲ــ۱ــ آماده‌سازی سنگ آهن	۲۶
۲ــ۲ــ۲ــ فرآیند احیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند	۲۸
۲ــ۲ــ۳ــ تولید آهن خام به روش احیاء مستقیم	۳۰
۲ــ۳ــ تولید فولاد از آهن خام	۳۱
۲ــ۴ــ تولید محصولات فولادی	۳۴
۲ــ۵ــ استخراج فلزات به روش تر یا هیدرومتالورژی	۳۶
۲ــ۵ــ۱ــ مراحل استخراج فلز به روش هیدرومتالورژی	۳۶
آزمون پایانی	۳۸
فصل سوم : ساختار و خواص فلزات	۳۹
۳ــ۱ــ مقدمه	۴۰
۳ــ۲ــ ساختار مواد	۴۰
۳ــ۳ــ ریزساختار مواد	۴۲

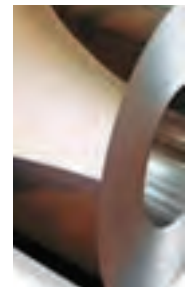




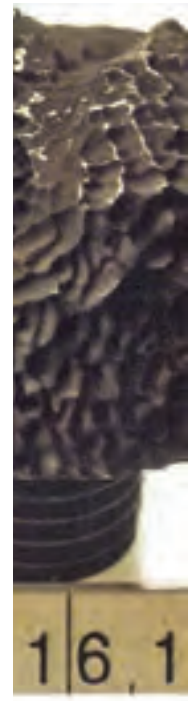
۴ـ۳ـ ساختار بلوری فلزات ۴۳
۱ـ۴ـ۳ـ ساختار بلوری آهن ۴۸
۵ـ۳ـ خواص فلزات ۴۹
۱ـ۵ـ۳ـ خواص فیزیکی ۴۹
۲ـ۵ـ۳ـ خواص مکانیکی ۵۳
۳ـ۵ـ۳ـ خواص تکنولوژیکی ۵۶
آزمون پایانی ۶۴
فصل چهارم : روش‌های بهبود خواص فلزات **۶۵**



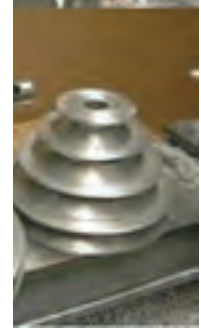
۱ـ۴ـ مقدمه ۶۶
۲ـ۴ـ عملیات حرارتی ۶۶
۱ـ۲ـ۴ـ اهداف عملیات حرارتی ۶۷
۳ـ۴ـ کارمکانیکی ۷۰
۴ـ۴ـ آلیاژسازی ۷۲
۱ـ۴ـ۴ـ مکانیزم استحکام بخشی توسط عناصر آلیاژی ۷۳
آزمون پایانی ۷۵
فصل پنجم : فلزات آهنی **۷۶**
۱ـ۵ ـ مقدمه ۷۷
۲ـ۵ ـ دسته‌بندی فلزات پایه آهنی ۷۸
۳ـ۵ ـ فولاد ۷۸
۱ـ۳ـ۵ ـ فولادهای ساده کربنی ۷۸
۲ـ۳ـ۵ ـ ارتباط ساختار میکروسکوپی با خواص مکانیکی ۸۳
۳ـ۳ـ۵ ـ فولادهای آلیاژی ۸۵
۴ـ۳ـ۵ ـ نام‌گذاری فولادها ۹۳
۴ـ۵ ـ چدن ۹۶
۱ـ۴ـ۵ ـ دسته‌بندی چدن‌ها ۹۷
آزمون پایانی ۱۰۱
فصل ششم : فلزات غیرآهنی **۱۰۲**
۱ـ۶ـ آلومینیوم ۱۰۳
۱ـ۱ـ۶ـ تولید آلومینیوم ۱۰۵



۲ـ۱ـ۶ـ آلیاژهای آلومینیوم ۱۰۷
۲ـ۶ـ مس ۱۱۱
۱ـ۲ـ۶ـ کاربردهای مس ۱۱۳
۲ـ۲ـ۶ـ تولید مس ۱۱۳
۳ـ۲ـ۶ـ دسته‌بندی مس و آلیاژهای آن ۱۱۵
۳ـ۶ـ روی و قلع ۱۱۷
۱ـ۳ـ۶ـ روی ۱۱۷
ـ آلیاژهای روی ۱۱۸
۲ـ۳ـ۶ـ قلع ۱۱۹
ـ آلیاژهای قلع ۱۲۰
۴ـ۶ـ سایرفلزات غیرآهنی ۱۲۰
آزمون پایانی ۱۲۴



فصل هفتم : خوردگی و حفاظت از مواد **۱۲۵**
۱ـ۷ـ مقدمه ۱۲۶
۲ـ۷ـ خوردگی فلزات ۱۲۹
۳ـ۷ـ مکانیزم ایجاد خوردگی ۱۲۹
۱ـ۳ـ۷ـ خوردگی شیمیایی ۱۳۰
۲ـ۳ـ۷ـ خوردگی الکتروشیمیایی ۱۳۰
۳ـ۳ـ۷ـ خوردگی مکانیکی ۱۴۱
۴ـ۷ـ روش‌های کنترل خوردگی و حفاظت مواد ۱۴۳
۱ـ۴ـ۷ـ طراحی و انتخاب مواد مناسب ۱۴۴
۲ـ۴ـ۷ـ تغییر شرایط محیط خورنده ۱۴۵
۳ـ۴ـ۷ـ تغییر پتانسیل سازه فلزی ۱۴۶
۴ـ۴ـ۷ـ استفاده از پوشش‌های محافظ ۱۴۸
آزمون پایانی ۱۵۰
فصل هشتم :فرآیندهای تولید **۱۵۲**
۱ـ۸ـ مقدمه ۱۵۳
۲ـ۸ـ ریخته‌گری ۱۵۳



۳ـ۸ـ روش‌های مهم ریخته‌گری ۱۵۴
۱ـ۳ـ۸ ـ ریخته‌گری ماسه‌ای ۱۵۴
۲ـ۳ـ۸ ـ ریخته‌گری در قالب فلزی ۱۵۶
۳ـ۳ـ۸ ـ ریخته‌گری تحت فشار(دایکاست) ۱۵۷
۴ـ۱ـ۸ ـ ریخته‌گری پیوسته ۱۵۸
۴ـ۸ ـ ریخته‌گری چدن ۱۵۸
۵ـ۸ـ ریخته‌گری فولاد ۱۵۹
۶ـ۸ـ شکل‌دهی فلزات در حالت جامد ۱۶۰
۱ـ۶ـ۸ ـ آهنگری ۱۶۰
۲ـ۶ـ۸ ـ نورد ۱۶۴
۳ـ۶ـ۸ ـ اکستروژن ۱۶۵
۷ـ۸ ـ متالورژی پودر ۱۶۶
آزمون پایانی ۱۷۰
فصل نهم : انتخاب مواد **۱۷۱**
۱ـ۹ـ مقدمه ۱۷۲
۲ـ۹ـ انتخاب مواد مهندسی ۱۷۲
۱ـ۲ـ۹ـ خودرو ۱۷۳
۲ـ۲ـ۹ـ هواپیما ۱۷۴
۳ـ۹ـ مراحل طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی ۱۷۴
۴ـ۹ـ روند انتخاب مواد صنعتی ۱۷۶
۱ـ۴ـ۹ـ وظایف سازه ۱۷۶
۲ـ۴ـ۹ـ شناسایی مواد قابل استفاده ۱۷۶
۳ـ۴ـ۹ـ ارزیابی گزینه‌ها ۱۷۶
۴ـ۴ـ۹ـ تصمیم‌گیری ۱۷۷
آزمون پایانی ۱۸۱
پیوست‌ها **۱۸۲**
واژه‌نامه **۱۸۸**
منابع و مآخذ **۱۹۵**

هدف کلی کتاب

آشنایی با مواد صنعتی، خواص و کاربرد آنها در صنعت

پیش گفتار

«و اَنْزَلْنَا الْحَدیـد فیه بَأسٌ شَدیدٌ و مَنافِعُ لِلنّاس»

«و فرو فرستادیم آهن را که درآن استحکام بسیار و منافع فراوان برای بشر دارد».

(سوره‌حدید،آیه۲۵)

در طول تاریخ، بشر با تکیه بر دانش خود از طبیعت و مواد موجود در آن به عنوان ابزاری در مسیر تکامل استفاده نموده است. کاربرد فلزات آن چنان با زندگی روزمره ما عجین شده است که لحظه‌ای نمی‌توان زندگی بدون استفاده از فلزات را تصور نمود. درکتاب آسمانی قرآن مجید دو فلز بسیار پرکاربرد، آهن (حدید) شش بار، مس (نحاس) یک بار و مس گداخته (قطر) دوبار آمده است و اهمیت آنها به کرات برای بشر گوشزد شده است.

با توجه به ارتباط نزدیک علم متالورژی و شناخت مواد صنعتی با رشته صنایع فلزی، این کتاب به زبان ساده و به دور از پیچیدگی، با تأکید زیاد بر درک مفاهیم و افزایش اطلاعات علمی و فنی هنرجویان به رشته تحریر درآمده است و در ساختار کتاب سعی شده است یک روال منطقی و قابل فهم از علم متالورژی ارائه گردد.

این کتاب شامل ۹ فصل می‌باشد که در فصل اول هنرجویان با مواد صنعتی و دسته‌بندی آنها آشنا می‌شوند؛ در فصل دوم با نحوه استخراج فلزات آشنا شده و در فصل سوم و چهارم با خواص فلزات و روش‌های بهبود خواص آنها آشنا می‌شوند. در این مرحله هنرجو آمادگی شناخت فلزت پایه آهنی (فولاد و چدن) و فلزات غیرآهنی (آلومینیوم، مس و ...) را پیدا می‌کند که در فصل پنجم و ششم به این موضوع پرداخته می‌شود. در فصل هفتم خوردگی فلزات و روش‌های محافظت از آنها بیان شده است و در نهایت با علم به موضوعات فوق، آشنایی با روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی و فرآیند شناسایی و انتخاب مواد صنعتی در فصول هشتم و نهم پایان بخش کتاب می‌باشد.

سخنی با هنرجویان

در ابتدای هر فصل هدف‌های رفتاری آن فصل نوشته شده و به منظور دست‌یابی به هدف‌های رفتاری در انتهای هر فصل سؤالاتی مطرح شده است. حفظ کردن و به خاطر سپردن جداول، اعداد و ارقام اطلاعاتی مثل جرم مخصوص، نقطه ذوب، درصد عناصر و... ضروری نمی‌باشد و کلیه جداول، نمودارها و شکل‌ها جهت کمک در طبقه بندی و توضیح مفاهیم و تعاریف می‌باشد.

خاطر نشان می‌سازد این کتاب مقدمه‌ای بر علم متالورژی است که از رشته‌های فنی و مهندسی در دانشگاه‌های ایران و جهان به شمار می‌رود. این رشته در ایران تا مقطع دکتری و فوق دکتری تدریس می‌شود و گرایش‌های این رشته که در بازار کار نیز پر طرفدار می‌باشد (صنعت ایران به آن نیازمند است) عبارتند از : متالورژی استخراجی، متالورژی صنعتی، شکل دادن فلزات، خوردگی و حفاظت از مواد، شناسایی و انتخاب مواد، جوشکاری، ریخته گری و سرامیک.

در کتاب پیش روی شما، تلاش شده است از طریق بیان مثال‌های کاربردی به صورت ساده، زمینه برای درک عمیق مفاهیم ارائه شده در هرفصل فراهم گردد. اگرچه مفاهیم موجود در این کتاب کم شمار است ولی مشارکت فعال شما در فعالیت‌های فردی یا گروهی درون یا برون کلاسی و ارایه دستاورد آن در کلاس می‌تواند محتوای کتاب را هر چه بیشتر پربار نماید. در حقیقت انتظار می‌رود طی سال تحصیلی، شما از طریق همکاری با هم کلاسی‌ها و معلم گرانقدرتان افزون برمحتوای موجود در کتاب، محتوایی فراگیرتر و کامل‌تر تولید نمایید. به این ترتیب با مشارکت فعال در فرآیند یاددهی ـ یادگیری تلاش کنید به جای یادگیری تعداد کمی مفاهیم علمی‌از پیش تعریف شده، یادگیری روش یادگیری را سر لوحه کار خود قرار دهید.

سخنی با معلمان

معلمان گرامی، این کتاب با تکیه بر مفاهیم علمی و ارائه مثال‌ها و تصاویر صنعتی به‌صورت ساده و مختصر جهت افزایش اطلاعات علمی و فنی، هنرجویان به تحریر در آمده است. بنابراین در تدریس انتظار می‌رود تا حد امکان از ارائه مطالب و ارزشیابی آنها به طوری که فقط جنبه‌های محفوظاتی مدنظر قرار گیرد، پرهیز شود. قرار دادن برنامه تحقیق در مورد موضوع‌های مشخص مرتبط با دروس به‌صورت کار گروهی یا انفرادی برای هنرجویان به‌منظور افزایش دانش صنعتی و ارایه مثال‌های کاربردی پیرامون مباحث هر فصل و آگاهی دادن به هنرجویان جهت ضرورت فراگیری مطالب به لحاظ علمی(به قصد ادامه تحصیل) و عملی (به منظور ورود به صنعت) در تدریس کتاب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هم‌چنین متناسب با امکانات برنامه‌ریزی و انجام بازدید از کارگاه‌ها، کارخانه‌ها و صنایع مرتبط می‌تواند در افزایش آگاهی هنرجویان عزیز و دست‌یابی به اهداف آموزشی بسیار مفید و مؤثر باشد.

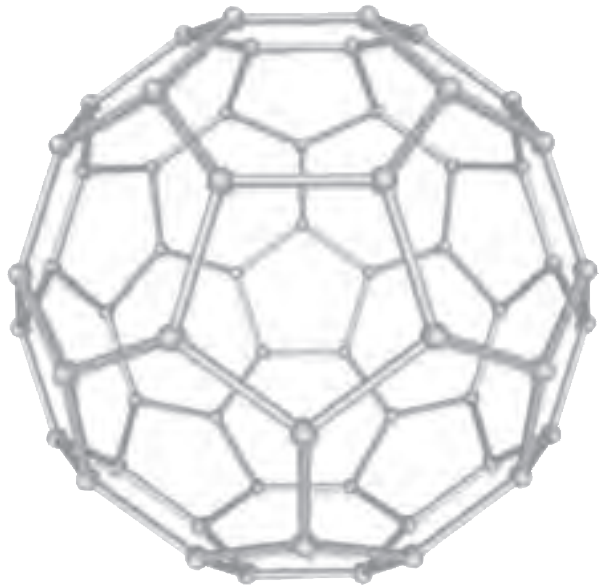
سخن آخر

هدف نهایی کتاب ترسیم جنبه‌های عملی و استفاده از علم مواد و متالورژی در صنایع مختلف است، به گونه‌ای که برای هنرجویان و هنر آموزان قابل لمس باشد. مزید امتنان خواهد بود اگر هنرجویان، هنرآموزان، معلمان، اساتید، صاحب‌نظران و مدرسین محترم، ما را از نظرها و پیشنهادهای خود جهت بهبود مطالب و افزایش اثربخشی منابع آموزشی مطلع فرمایند.

با سپاس

فصل اول

آشنایی با مواد صنعتی



هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ مواد صنعتی را دسته‌بندی نماید.

۲ــ ضرورت شناخت مواد صنعتی را بیان نماید.

۳ــ فلزات را دسته‌بندی نماید و ویژگی‌های مهم آنها را بیان کند.

۴ــ غیر فلزات را دسته‌بندی نماید و ویژگی‌های مهم آنها را بیان کند.

۵ــ مواردی از کاربرد دسته‌های مختلف فلزات را در صنعت بیان کند.

۶ــ مواردی از کاربرد پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها را در صنعت بیان کند.

۷ــ نانو مواد را معرفی کند و دلایل تغییر در خواص مواد نانو را بیان نماید.

۱ــ۱ــ ضرورت شناخت مواد صنعتی

به‌طور کلی موادی را که در ساخت و تولید قطعات، تجهیزات و سازه‌های صنعتی بکار می‌روند، مواد صنعتی می‌گویند. با این تعریف مواد صنعتی دربرگیرنده مواد جامد، مایع و گازی مورد استفاده در صنایع مختلف می‌شود ولی از آنجایی که بحث طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی درخصوص مواد جامد معنی و مفهوم پیدا می‌کند، بنابراین در این کتاب مباحث در محدوده مواد جامد صنعتی خلاصه می‌گردد.

اما قبل از معرفی مواد جامد صنعتی، دسته‌بندی و پرداختن به خصوصیات آنها ضروری است بدانیم :

شناخت مواد صنعتی چه اهمیتی دارد؟ و این شناخت برای چه کسانی ضروری است؟

تکنولوژی مواد، علم و فناوری است که درباره فرآیندهای تولید، استخراج، تصفیه، آلیاژکردن، شکل‌دادن و نیز خواص فیزیکی، مکانیکی، تکنولوژیکی، شیمیایی و عملیات حرارتی بحث می‌کند و به‌بررسی ساختمان داخلی مواد از نظر ترکیب، ساختار و ریز ساختار آنها می‌پردازد. از زمانی‌که بشر به‌روش‌هایی برای تغییر مواد طبیعی و تولید مواد جدید دست یافت، تنوع مواد جدید به‌سرعت گسترش پیدا کرد و بحث انتخاب ماده مناسب از میان چند ماده مختلف براساس ویژگی‌های مورد انتظار مطرح بوده است. نمودار (۱ــ۱) دوره‌های مهم ایجاد تحول اساسی در مواد صنعتی را در طول تاریخ بشر نشان می‌دهد.

نمودار ۱ــ۱ــ دوره‌های ایجاد تحول بزرگ صنعتی در طول تاریخ بشر

امروزه بازتاب تأثیر مواد صنعتی در زندگی بشر بسیار محسوس است. هنگامی که با نام اتومبیل، هواپیما، کشتی، ساختمان، پالایشگاه و ... برخورد می‌کنیم ناخودآگاه طیف وسیعی از مواد صنعتی مختلف را به‌خاطر می‌آوریم. با نگاه دقیق به پیرامون خود می‌توان به تنوع و اهمیت مواد مختلف در ساخت و تولید محصولات و سازه‌های صنعتی پی برد. در شکل (۱ــ۱) نمونه‌هایی از کاربرد مواد صنعتی در صنایع مختلف نشان داده شده است.

شکل ۱ــ۱ــ استفاده از مواد مختلف صنعتی برای تولید محصولات متفاوت

امروزه شناخت مواد و درک رفتار آنها در مقابل تأثیر عوامل خارجی برای توسعه مواد جدید و به‌کارگیری آنها در فناوری‌های نو ضروری می‌باشد. متخصصینی که در صنعت به طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و تجهیزات اشتغال دارند، لازم است خصوصیات موادی را که با آن سروکار دارند بشناسند و راه‌های جلوگیری از ایجاد تغییر آنها در مقابل عوامل فیزیکی، مکانیکی و یا شیمیایی را بدانند.

به‌عبارت دیگر متخصصین مذکور باید بدانند :

- ❖ چه ماده‌ای برای هدف آنها مناسب‌تر است؟
- ❖ از چه فرآیند ساخت و تولیدی می‌توانند برای تولید محصول صنعتی استفاده کنند؟
- ❖ چگونه می‌توانند خواص و ویژگی‌های مورد نظر برای محصول صنعتی را مثل : تلرانس‌های ابعادی، شرایط سطحی و ظاهری ، طول عمر و کارائی آن‌را تأمین نمایند؟
- ❖ چگونه می‌توان بهره‌برداری مطلوبی از قطعه یا سازه صنعتی داشت؟
- ❖ چگونه می‌توان از محصول صنعتی به‌درستی نگهداری کرد؟
- ❖ در صورت صدمه دیدن چگونه می‌توان آن را تعمیر و بازسازی کرد؟
- ❖ سازگاری مواد مورد استفاده در ساخت قطعات صنعتی با اجزاء دیگر سازه چگونه است؟
- ❖ بازیابی مواد و بازگشت آنها به طبیعت و محیط زیست چگونه است؟
- ❖ چگونه می‌توان هزینه‌های تولید را کاهش داد؟

بنابراین با پیشرفت علوم و تکنولوژی هر روز بر شمار و تنوع مواد صنعتی افزوده می‌شود و دانشمندان بیشتر به ارتباط بین خواص مواد و کاربردهای صنعتی آنها پی می‌بردند. این موضوع باعث می‌شود علم انتخاب مواد پیچیدگی‌های بیشتری پیدا کند، به‌طوری‌که امروزه موضوع انتخاب ماده مناسب برای طراحی و ساخت یک سازه صنعتی به یک رشته تخصصی تبدیل شده است.

بیشتر بدانیم

جدول تناوبی عناصر

لاووازیه نخستین کسی بود که به شناسایی عناصر پرداخت. او عناصر را به دو دستهٔ کلی : فلز و غیرفلز تقسیم کرد. در سال ۱۸۶۵ میلادی شیمیدان انگلیسی به‌نام ج.ا.ر. نیولندز اعلام کرد، عنصرها را می‌توان به ترتیب افزایش جرم اتمی مرتب نمود و هنگامی که این کار انجام گرفت، نظم خاصی بین آنها ایجاد شد.

در نهایت مندلیف[1] در سال ۱۸۷۱ میلادی راهی تازه برای مرتب کردن عنصرها کشف کرد و به خصلت تناوبی در میان عنصرها پی برد که در جدول (۱ــ۱) به‌صورت تفکیک شده از نظر عناصر دارای خواص نزدیک به هم، نمایش داده شده است.

مندلیف

جدول ۱ــ۱ــ طبقه‌بندی عناصر بر اساس نظریه مندلیف

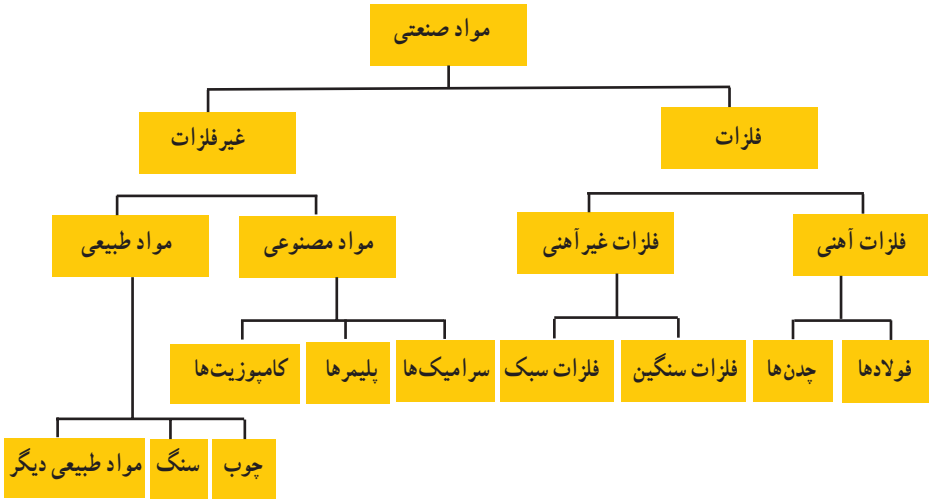
کد رنگ برای اعداد اتمی :

- عناصر شماره‌گذاری شده با رنگ آبی، در دمای اتاق مایع هستند؛
- عناصر شماره‌گذاری شده با رنگ سبز، در دمای اتاق به‌صورت گاز می‌باشند؛
- عناصر شماره‌گذاری شده با رنگ سیاه، در دمای اتاق جامد هستند؛
- عناصر شماره‌گذاری شده با رنگ قرمز ترکیبی بوده و به‌طور طبیعی یافت نمی‌شوند (همه در دمای اتاق جامد هستند)؛
- عناصر شماره‌گذاری شده با رنگ خاکستری، هنوز کشف نشده‌اند (و به‌صورت کم رنگ نشان داده شده‌اند تا گروه شیمیایی را که در آن قرار می‌گیرند، مشخص نمایند).

۱ــ mandaliev

۲ــ۱ــ دسته‌بندی مواد جامد صنعتی

مواد جامد صنعتی را به صورت‌های مختلفی می‌توان تقسیم بندی کرد. در حالت کلی می‌توان آنها را به دو دسته اصلی شامل : فلزات و غیرفلزات تقسیم کرد و سپس مطابق نمودار (۲ــ۱) به اجزاء کوچک‌تری تقسیم‌بندی نمود.



نمودار ۲ــ۱ــ دسته‌بندی مواد جامد صنعتی

۱ــ۲ــ۱ــ فلزات : از زمانی که بشر فلز را شناخت، متالورژی[۱] را به‌عنوان یک علم و تکنولوژی فرا گرفت. به‌طور کلی علم شناخت، استخراج و کار روی فلزات را متالورژی یا فلزشناسی می‌گویند و فلزات دسته‌ای از مواد صنعتی هستند که دارای خواص ویژه ای می‌باشند؛ از نظر خواص فیزیکی به‌جز جیوه که مایع می‌باشد بقیه آنها در دمای محیط جامداند و ساختار بلوری دارند. فلزات هم‌چنین قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی زیاد و دمای ذوب و جوش، گرمای نهان تبخیر، جرم حجمی و سختی به نسبت بالایی دارند.

از نظر خواص مکانیکی عناصر فلزی به‌طور کلی انعطاف‌پذیرند، قابلیت شکل‌پذیری، خاصیت چکش‌خواری، صیقل‌پذیری، تورّق و مفتول‌شدن آنها زیاد است و نیز در مقابل ضربه، فشار و کشش مقاوم‌اند. فلزات و آلیاژهای[۲] آنها را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود. گروه اول فلزات پایه آهنی[۳] و گروه

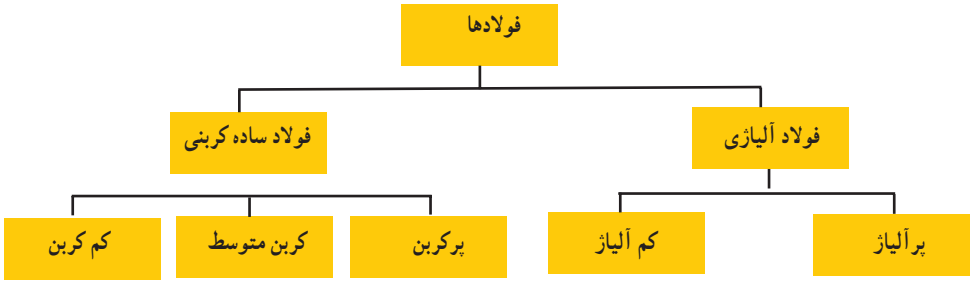
۱ــ Metallurgy

۲ــ هم بسته

۳ــ Ferrous Base Metal

دوم فلزات پایه غیرآهنی[1] نامیده می‌شوند.

الف) فلزات آهنی: فلزات آهنی فلزاتی هستند که عنصر اصلی تشکیل دهنده آنها آهن (Fe) می‌باشد. این فلزات جزء مهم‌ترین مواد جامد صنعتی به‌شمار می‌آیند که دارای موارد کاربرد فراوانی در صنایع گوناگون می‌باشند و می‌توان آنها را به دو دسته کوچکتر تقسیم کرد. فلزات آهنی به‌نسبت خیلی از مواد صنعتی دیگر ارزان‌تر و دارای تنوع بیشتری از نظر خواص هستند، به‌طوری‌که اکثر ماشین آلات، تجهیزات و قطعات صنعتی از فلزات آهنی و آلیاژهای آن‌ها ساخته می‌شوند و یا در ساخت آنها از این دسته از فلزات استفاده شده است. فلزات آهنی شامل دو گروه فولادها و چدن‌ها می‌شوند که در نمودار (۳ــ۱) تقسیم‌بندی فولادها در حالت کلی نشان داده شده است.



نمودار ۳ــ۱ــ تقسیم‌بندی فولادها

اصطلاح فولاد برای آلیاژهای آهن با کربن که ممکن است محتوی درصدهای مختلفی از عناصر دیگر باشند به‌کار می‌رود. مقدار کربن در فولادها به طور معمول بین ۰/۰۲۵ تا حدود کمتر از ۲ درصد است در حالی‌که درصد عناصر دیگر ممکن است بسیار متغیر باشد. بنابراین خواص فولاد به درصد کربن و عناصر دیگر موجود در آن و عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن بستگی دارد. در شکل (۲ــ۱) مواردی از کاربردهای صنعتی فولادها نشان داده شده است.

چدن نیز به آلیاژهای سه‌تایی از آهن، کربن و سیلیسیم اطلاق می‌شود که ممکن است دارای عناصر آلیاژی دیگری نیز باشند. به طور معمول بیش از ۹۵ درصد وزنی چدن را آهن تشکیل می‌دهد و عناصر آلیاژی اصلی آن کربن و سیلیسیم هستند. چدن‌ها به‌طور معمول بین ۲/۱ تا ۴ درصد کربن و ۱ تا ۳ درصد سیلیسیم دارند. رنگ مقطع شکست چدن‌ها به‌عنوان یکی از راه‌های نام‌گذاری انواع مختلف آن به‌کار می‌رود. چدن‌ها به‌دلیل نقطه ذوب پایین، سیالیت زیاد و قابلیت ریخته‌گری خوب، به‌مواد مهندسی پرکاربرد تبدیل شده‌اند. در نمودار(۴ــ۱) و شکل (۳ــ۱) تقسیم‌بندی و مواردی از

۱ــ Non ــ ferrous Base Metal

صنایع حمل و نقل

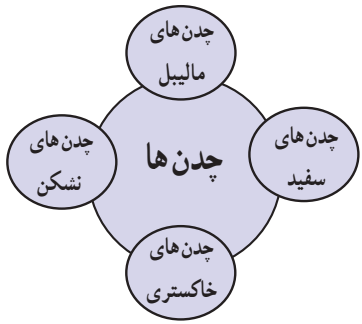
صنایع ساختمانی

لوازم خانگی

صنایع کشاورزی

شکل ۲ــ۱ــ محصولات و قطعات ساخته شده از فولاد

کاربردهای صنعتی چدن‌ها نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که مطالب بیشتر در خصوص معرفی انواع و ویژگی‌های فولادها و چدن‌ها را در فصل پنجم کتاب می‌آموزیم.



نمودار ۴ــ۱ــ تقسیم‌بندی چدن‌ها

غلتک‌های نورد

میل لنگ

شیر فلکه

دستگاه ورق‌کاری

دستگاه خم‌کاری

شکل ۳ــ۱ــ قطعات و تجهیزات ساخته شده از چدن

ب) فلزات غیرآهنی : فلزات غیرآهنی عبارتند از : تمام فلزات و آلیاژهایی که بخش اصلی تشکیل‌دهنده ترکیب آنها عنصری غیر از آهن باشد. فلزات غیرآهنی به‌دلایل مختلف از جمله اینکه : مقدار آنها در طبیعت کمتر یافت می‌شود و یا مراحل استخراج آنها پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر است و یا از نظر خواص مورد نظر ضعیف‌تر می‌باشند نسبت به فلزات آهنی موارد کاربرد کمتری در صنعت دارند و یا در موارد و کاربردهای مخصوصی به‌کار می‌روند که خواص ویژه‌ای مورد نظر باشد مثل : آلیاژهای مس، آلومینیوم، منیزیم، روی، نیکل و غیره.

فلزات غیر آهنی بر اساس جرم حجمی‌به دو دسته فلزات سنگین (جرم حجمی‌آنها بیشتر از ۵ گرم بر میلیمتر مکعب است) مانند : مس، قلع، سرب، برنج و فلزات سبک (جرم حجمی‌آنها کمتر از ۵ گرم بر میلیمتر مکعب است) نظیر : آلومینیوم، منیزیم و تیتانیوم تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل (۴ــ۱) مواردی از کاربردهای صنعتی فلزات غیرآهنی نشان داده شده است (در فصل ششم کتاب به‌صورت مفصل‌تری در خصوص خواص و کاربردهای صنعتی فلزات غیرآهنی بحث و بررسی می‌شود).

مس در صنایع برق

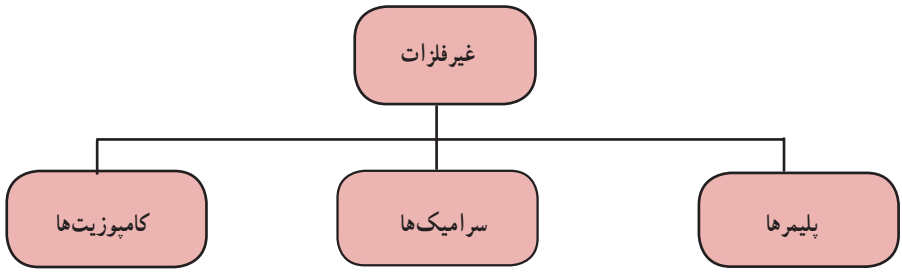
آلومینیوم در صنایع ساختمان

تیتانیوم درصنایع هوا و فضا

قلع در لحیم کاری

شکل ۴ــ۱ــ کاربرد فلزات غیرآهنی در ساخت سازه‌های صنعتی

۲ــ۲ــ۱ــ غیرفلزات : غیر فلزات دسته دوم مواد جامد صنعتی را تشکیل می‌دهند که می‌توان آنها را به دو دسته غیرفلزات طبیعی و مصنوعی دسته‌بندی نمود. غیرفلزات طبیعی شامل موادی مانند : چوب، سنگ، پروتئین، پشم، ابریشم، پنبه، کتان، لاستیک طبیعی یا کائوچو و امثال آنها هستند که در صنایع مختلف نظیر : نساجی، ساختمان و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند و غیرفلزات مصنوعی به‌تمام مواد غیر فلزی ساخته شده دست بشر اطلاق می‌شود که مطابق نمودار (۵ــ۱) می‌توان آنها را در سه دسته پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها جای داد.



نمودار ۵ــ۱ــ تقسیم بندی مواد غیر فلزی

الف) پلیمرها

پلیمرها (درشت مولکول‌ها) مولکول‌های بزرگی هستند که از به هم چسبیدن تعداد زیادی مولکول‌های کوچک‌تر تشکیل می‌شوند. مولکول‌های کوچک را مونومر و عمل اتصال و پیوند آنها را پلیمر شدن می‌گویند. در شکل (۵ــ۱) بخشی از یک مولکول پلیمری (تفلون) نشان داده شده است. چنانچه واحدهای سازندهٔ یک پلیمر (مونومر) از یک نوع باشند آن را همونومر و اگر مونومرهای تشکیل دهندهٔ یک پلیمر متفاوت باشند به آن کوپلیمر گفته می‌شود. بنابراین وزن مولکولی پلیمرها بستگی به نوع و تعداد مونومرهای تشکیل‌دهندهٔ آن دارد.

شکل ۵ــ۱ــ بخشی از یک مولکول پلیمری (تفلون)

پلیمرها را می‌توان به‌صورت‌های مختلف تقسیم بندی کرد. در حالت کلی می‌توان آنها را به دو دسته پلیمرهای طبیعی و پلیمرهای مصنوعی تقسیم کرد. پلیمرهای طبیعی به‌طور مستقیم از گیاهان و حیوانات به‌دست می‌آیند نظیر : چوب، چرم، پشم، پنبه، ابریشم، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، ولی پلیمرهای مصنوعی از مولکول‌های کوچک (مونومر) در واحدهای پتروشیمی‌ساخته می‌شوند.

مواد پلیمری به‌دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، کاربرد وسیعی در صنایع مختلف از جمله در ساخت وسایل خانگی، اسباب بازی‌ها، بسته‌بندی‌ها، کیف و چمدان، کفش، میز و صندلی، شلنگ‌ها و لوله‌های انتقال آب، رنگ‌های محافظ و تزئینی، لاستیک اتومبیل و غیره دارند. هم‌چنین پلیمرها پایداری خوبی در مقابل مواد شیمیایی دارند. بعضی از آنها شفاف بوده و می‌توانند جایگزین شیشه شوند. اغلب پلیمرها عایق الکتریکی هستند. اما پلیمرهای خاصی نیز وجود دارند که تا حدی قابلیت هدایت الکتریکی دارند. تفلون از جمله مواد پلیمری است که به‌دلیل ضریب اصطکاک پایینی که دارد به‌عنوان پوشش برای جلوگیری از چسبیدن مواد غذایی در وسایل پخت و پز استفاده می‌شود.

پلیمرهای صنعتی طی سال‌های اخیر توانسته‌اند با توجه به تنوع و گستردگی در خواص و ویژگی‌های خود باعث تحول بزرگی در عرصه مواد صنعتی شوند. به‌طوری‌که امروزه در بسیاری موارد به‌دلیل خواص بهتر و هزینه کمتر تولید، جایگزین مناسبی برای مواد صنعتی دیگر به‌حساب می‌آیند.

در شکل (۶ــ۱) دو نمونه از جایگزینی پلیمرها مشاهده می‌شود. قسمت الف نشان می‌دهد که لوله‌های پلیمری جایگزین لوله‌های فولادی شده‌اند و قسمت ب نشان می‌دهد که امروزه قایق‌ها به‌دلیل مزایای ویژه مواد پلیمری (از جمله سبک بودن) از پلیمر ساخته می‌شوند.

لوله‌های فولادی یا چدنی

لوله‌های پلیمری

الف

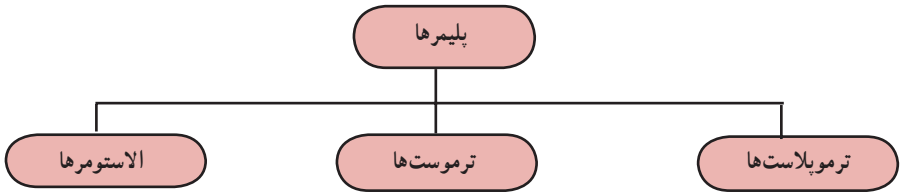
قایق چوبی

قایق‌های پلیمری

ب

شکل ۶ــ۱ــ مواد پلیمری جایگزین شده : الف) لوله‌های آب، ب)قایق

تقسیم بندی پلیمرهای صنعتی : پلیمرهای صنعتی را می‌توان برحسب خواص و رفتار آنها در برابر حرارت و خواص مکانیکی مطابق نمودار (۶ــ۱) به سه دسته عمده تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۶ــ۱ــ تقسیم‌بندی پلیمرهای صنعتی

در جدول (۲ــ۱) سه دسته اصلی مواد پلیمری معرفی شده‌اند، هم‌چنین خواص آنها آورده شده و مواردی از کاربردهای صنعتی آنها نشان داده شده است.

جدول ۲ــ۱ــ معرفی خواص و مواردی از کاربرد پلیمرهای صنعتی

<table>
<tr><td rowspan="3">ترموپلاست‌ها
(پلاستیک‌های گرما نرم)</td><td>ویژگی‌ها و خواص</td><td>مواد پلاستیکی هستند که در اثر حرارت به مایع تبدیل می‌شوند و اگر آنها را در قالب بریزیم شکل قالب را به خود می‌گیرند و هر چند بار که بخواهیم می‌توانیم آن را ذوب کرده و تغییر فرم داد. این علت کاربرد بسیار زیاد این مواد است.
نایلون، پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی ونیل کلراید (P.V.C) از جمله مواد ترموپلاستیک هستند.</td></tr>
<tr><td>موارد کاربرد</td><td>وسایل اسباب بازی کودکان، لوله‌ها و تجهیزات انتقال مایعات، تجهیزات الکتریکی، پوشش‌ها، اتصالات، لوازم آشپزخانه، کیسه پلاستیکی و نظایر آن</td></tr>
<tr><td>نمونه‌های صنعتی از کاربرد ترموپلاست‌ها در صنعت</td><td colspan="2">نایلون

پلی‌اتیلن

پلی پروپیلن

پلی ونیل کلراید (P.V.C)

پلی‌اتیلن</td></tr>
</table>

ترموست‌ها (پلاستیک‌های گرما سخت)	**ویژگی‌ها و خواص**	**ترموست** یا **گرماسخت** به پلیمرهایی گفته می‌شود که در اثر اعمال حرارت دچار واکنش شیمیایی و سخت می‌شوند و پس از پخت و شکل‌پذیری، دیگر با استفاده از حرارت نمی‌توان شکل آنها را تغییر داد. آنها جزو پلیمرهای سه بعدی یا مشبک می‌باشند که دارای سختی بالا، مقاوم در برابر حرارت و حلال‌های شیمیایی هستند و مقاومت الکتریکی بالایی نیز دارند. مثل : ملامین‌ها، پلی استرها و اپوکسی‌ها
	موارد کاربرد	از آنها در ساخت لوله‌ها، شیرها، پمپ‌ها، ظروف، پوشش محافظ وسایل الکتریکی، بدنه گوشی تلفن، بدنه و اجزاء وسایل نقلیه، دوچرخه، موتور و اتومبیل، وسایل خانگی، اسباب بازی، مبلمان و نظیر آن استفاده می‌شود.

نمونه‌های صنعتی از کاربرد مواد پلیمری ترموست در صنایع

پلی‌استر

اپوکسی

الاستومرها نام الاستومر از دو قسمت«الاستو» برگرفته از «الاستیک» و به معنای ارتجاعی و «مر» برگرفته از «پلیمر» تشکیل شده است	**ویژگی‌ها و خواص**	پلیمرهایی هستند که قابلیت ارتجاعی زیادی دارند. الاستومرها در اثر نیروی خارجی تغییر شکل پیدا می‌کنند و بعد از حذف نیرو، شکل آنها از بین می‌رود و دوباره به حالت اولیه باز می‌گردند همچنین بدون پاره شدن و گسستن در برابر تغییر شکل مقاومت می‌کنند. این پلیمرها در اثر گرما نرم می‌شوند، ولی برخلاف ترموپلاستیک‌ها به حالت ویسکوز یا مایع در نمی‌آیند. بلکه می‌توان آنها را مثل ترموپلاست‌ها در حلال‌های مرسوم شیمیایی که بسته به نوع و ساختمان پلیمر تعیین می‌شود، حل کرد. الاستومرها از نظر شیمیایی در مقابل اسیدهای معدنی رقیق، قلیاها و نمک‌ها مقاوم هستند.
	موارد کاربرد	در ساخت محصولات زیادی مانند : لاستیک اتومبیل، مواد آب بندی، برف پاک‌کن، شیلنگ‌ها و مواد پوشش مخازن، تانک‌ها، لوله‌ها و امثال آن کاربرد دارند.
نمونه‌های صنعتی کاربرد الاستومرها در صنعت	واشر لاستیکی شیلنگ تایر اتومبیل	

ب) سرامیک‌ها

سرامیک‌ها دسته دیگری از مواد صنعتی غیر فلزی معدنی هستند که از جمله خواص شاخص آنها نسبت به مواد صنعتی دیگر عبارت است از :

- دیرگدازی بالا
- سختی زیاد
- مقاومت در برابر خوردگی بالا

طبقه‌بندی و معرفی مواد سرامیکی: مواد سرامیکی متناسب با خواصی که دارند در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و توسعه آنها از نظر کمی و کیفی به‌سرعت در حال گسترش می‌باشد. در جدول(۳ــ۱) مواد سرامیکی متداول و پرکاربرد در صنعت معرفی شده‌اند.

جدول ۳ــ۱ــ معرفی مواد سرامیکی متداول و پرکاربرد در صنعت

ماده سرامیکی	توضیح خصوصیات و ویژگی‌ها	تصویر
سفال	از قدیمی‌ترین دست ساخته‌های بشر است. خاک رس مادهٔ اصلی آن است که از اختلاط آب + خاک‌رس و ورزدادن به‌منظور افزایش قابلیت شکل‌پذیری و در نهایت خشک شدن و پختن جسم حاصل در کوره به‌دست می‌آید. مواد سفالی متخلخل هستند، لذا هر مایعی را به‌سرعت جذب کرده و از خود عبور می‌دهند. بنابراین به‌منظور : افزایش زیبایی، افزایش استحکام، کاهش نفوذپذیری و بهداشتی‌نمودن برروی ظروف سفالی لعاب کاری صورت می‌گیرد.	
آجر	از مهم‌ترین مصالح ساختمانی است که در قدیم به روش دستی تولید می‌شد، اما امروزه آجر با استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات مخصوص به‌صورت مکانیزه ساخته می‌شود.	
کاشی	قطعاتی مسطح از جنس سفال می‌باشند که تنها یک روی آنها لعاب داده می‌شود(ضدآب کردن کاشی) و با کمک دوغاب سیمان به دیوار می‌چسبانند؛ کاشی در دو نوع دیواری و زمینی (موسوم به سرامیک) تولید می‌گردد.	
چینی	نوعی ماده سفید و محکم و شبیه سفال است که نسبت به نفوذ آب مقاوم‌اند. فلدسپات، کوارتز و رس سه جزءِ اصلی تشکیل‌دهنده چینی هستند که در کوره‌های مخصوص پخته می‌شوند.	
دیرگدازها	فراورده‌هایی می‌باشند که دارای استحکام کافی بوده و می‌توانند در دمای بالا کار کنند؛ دیرگدازها به‌طور عموم یا به صورت آجر و بلوک تولید می‌شوند (آجرهای نسوز شومینه) یا به صورت ملات‌های نسوز ساخته می‌شوند (سیمان نسوز) دیرگدازهای سنتی به طور معمول می‌توانند تا دمای 1900° درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند در صورتی که دیر گدازهای نوین می‌توانند تا بیشتر از 3000° درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند.	

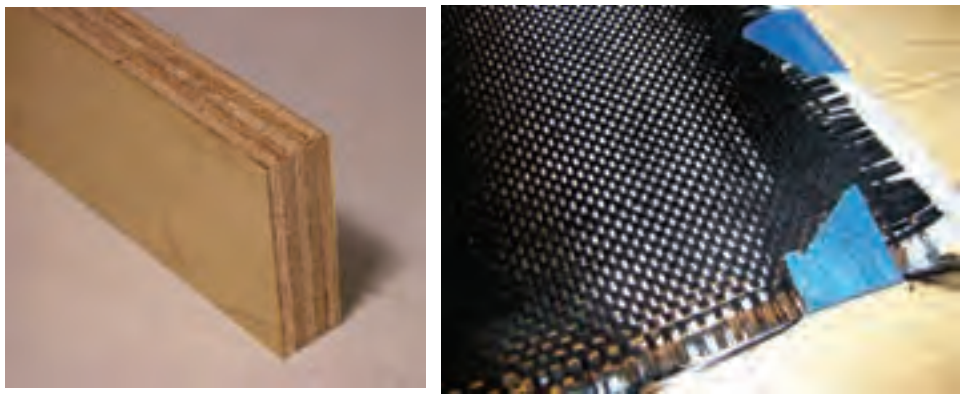
ساینده‌ها و سنباده‌ها	مواد سرامیکی هستند که دارای سختی فوق العاده می‌باشند و جهت تهیه مواد ساینده و سنباده کاربرد دارند. برای ساخت ساینده‌ها این ذرات را ابتدا توسط قالب شکل می‌دهند سپس با اعمال حرارت آن را می‌پزند تا به قطعه‌ای فوق العاده سخت و محکم تبدیل می‌گردد. جهت تولید سنباده‌ها ابتدا ذرات را دانه‌بندی نموده و توسط چسب‌هایی مقاوم برروی مقوا یا پارچه می‌چسبانند.	 کاغذ سنباده صفحه سنگ و ساب
لعاب	پوششی سرامیکی است که با ضخامت کم به‌صورت پودر یا محلول برروی قطعه قرار گرفته و توسط حرارت پخته و تثبیت می‌گردد، باید توجه نمود که لعاب علاوه بر ظروف سرامیکی برروی قطعات فلزی نیز کاربرد دارد. (مثل کتری لعابی، سینک لعابی و بخاری)	
سرامیک‌های مدرن	مواد سرامیکی هستند که از مواد با درجه خلوص بالا و به‌وسیله روش‌های ویژه تولید می‌شوند و امروزه در صنایع مختلف مثل : پزشکی، برق و الکترونیک، هوا فضا، هسته‌ای، کامپیوتر و غیره کاربرد زیادی دارند.	 فیبر نوری

ج) کامپوزیت‌ها

مواد کامپوزیتی یا مرکب از دو فاز زمینه و تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند. فاز زمینه با احاطه کردن فاز تقویت کننده آن را در محل خود نگه می‌دارد و فاز تقویت کننده موجب بهبود خواص مکانیکی ماده کامپوزیتی می‌گردد. به طور کلی فاز تقویت کننده می‌تواند به صورت رشته‌های کوتاه، بلند و یا ذرات ریز با شکل‌های گوناگون باشند که در (شکل۷ــ۱) سه حالت از این مواد به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

شکل ۷ــ۱ــ سه حالت قرار گرفتن فاز تقویت کننده در داخل فاز زمینه

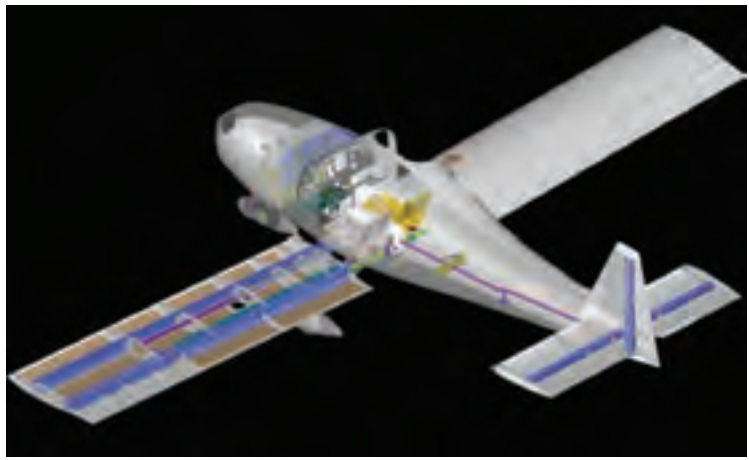
مواد کامپوزیت به منظور دستیابی به‌موادی با خواص متفاوت و برتر از مواد صنعتی دیگر تولید می‌شوند. به کمک مواد مرکب مهندسین علم مواد قادراند مواد جدیدی متناسب با نیازهای واقعی صنایع در عرصه‌های مختلف بسازند. اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت‌ها از لحاظ شکل، ترکیب شیمیایی و خواص با یکدیگر متفاوتند. شکل (۸ــ۱) دو نوع از مواد کامپوزیتی چوبی و پلیمری را نشان می‌دهد.



ماده مرکب پلیمری — ماده مرکب چوبی

شکل ۸ــ۱ــ مواد کامپوزیت با زمینه چوب و پلیمر

فایبرگلاس یکی از پرکاربردترین کامپوزیت‌های با زمینهٔ پلیمری است که توسط فیبر شیشه تقویت شده است و امروزه در ساخت قطعات هواپیما، بدنه جنگنده‌های رادارگریز، پره نیروگاه‌های بادی و بالگردها از کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود. به‌طور کلی مواد کامپوزیتی به دلیل داشتن جرم کم و استحکام مکانیکی بالا نسبت به فلزات، در صنعت هوا و فضا کاربرد وسیعی دارند (شکل ۹ــ۱).



شکل ۹ــ۱ــ استفاده از مواد کامپوزیتی مستحکم در ساخت قطعات هواپیما موجب کاهش وزن، افزایش سرعت و کاهش مصرف سوخت می‌شود.

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

- استحکام عالی در برابر وزن کم (نسبت استحکام به وزن بالا)
- مقاومت در برابر خوردگی بالا
- عایق حرارتی خوب

از دیگر مواد کامپوزیتی متداول می‌توان به آسفالت، کاهگل، بتن آرمه، و لاستیک خودرو اشاره کرد. همان‌طور که گفته شد خواص کامپوزیت‌ها به خواص هر یک از فازهای تشکیل دهنده آن، مقدار، شکل، اندازه، نحوه توزیع و نیز جهت قرار گرفتن فاز تقویت کننده در داخل فاز زمینه بستگی دارد.

دسته‌بندی مواد کامپوزیتی : مواد کامپوزیتی براساس فاز زمینه به سه دسته : زمینه فلزی، زمینه سرامیکی و زمینه پلیمری تقسیم‌بندی می‌شود که در جدول (۴ــ۱) انواع کامپوزیت‌ها و ویژگی آنها آورده شده است.

جدول ۴ــ۱ــ آشنایی با مواد کامپوزیتی پرکاربرد صنعتی

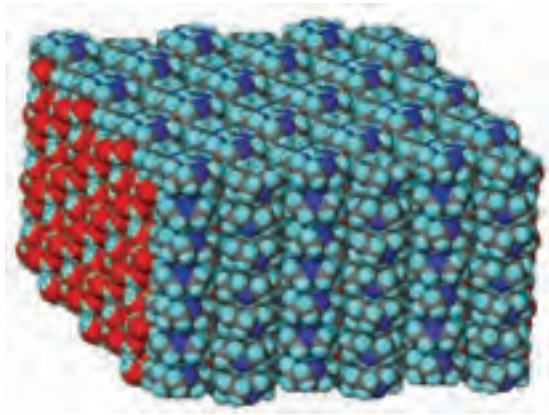
زمینه / تقویت کننده	فلزی	سرامیکی	پلیمری
فلزی	● نقره ــ پودر تنگستن ✓اتصالات الکتریکی مقاوم به سایش ● آلومینیوم ــ رشته‌های نازک تنگستن	● آلومینیوم ــ پودر یا رشته‌های آلومینا، کاربید سیلسیم و کربن ✓صنایع هوا و فضا، قطعات نظامی، قطعات خودرو مثل : پیستون، شفت و میله‌های اتصال	● آلومینیوم ــ رشته‌های کربن و بر ● آلیاژ نقره ــ مس با رشته‌های کربن ✓قطعات موتور هواپیما و فضاپیما
سرامیکی	● بتن ــ میلگرد فولادی ✓سازه‌های ساختمان، سدسازی، پایه پل و ساختمان‌سازی	● آلومینا ــ کاربید سیلیسیم ✓ابزار برش و ماشین‌کاری فلزات سخت ● کربن ــ رشته‌های کربن ✓صنایع هوافضا، قطعات هواپیما و توربین	● کربن ــ آرامید ✓زره‌پوش‌های نظامی، پوشاک ضد گلوله، طناب ماهی‌گیری، چوب اسکی، راکت تنیس و دسته گلف
پلیمری	● پلیمر ــ رشته‌های سیم فولادی ✓تایر خودرو ● پلی‌اتیلن ــ پودر سرب ✓جذب اشعه	● پلیمر ــ رشته‌های شیشه ✓فایبر گلاس ● پلیمر ــ رشته‌های کربن ● پلیمر ــ کاربید سیلیسیم یا آلومینا ✓قطعات هواپیما، قطعات نظامی و صنایع هوافضا ● قیر ــ بتن ✓آسفالت	● پلیمر ــ آرامید ✓جلیقه نجات، راکت تنیس، وسایل ورزشی، کاسه نمد لنت ترمز و کلاچ

۳ــ۱ــ نانو[۱] مواد

یک نانومتر برابر یک میلیاردم متر ($۱۰^{-۹}$ m) است. این اندازه حدود ۱۸۰۰۰ بار کوچکتر از قطر یک تار موی انسان است. به طور میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند. موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها در مقیاس ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد، مواد نانویی یا نانو مواد خوانده می‌شوند. به این ترتیب فناوری نانو عبارت از توانایی بدست گرفتن کنترل ماده در ابعاد

۱ــ Nano = $۱۰^{-۹}$

نانومتری برای تولید و استفاده از ابزار و مواد است. از همین تعریف ساده برمی‌آید که اولاً همه مواد از جمله فلزات، نیمه‌هادی‌ها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و پلیمرها در ابعاد نانو می‌توانند وجود داشته باشند. ثانیاً نانوتکنولوژی یک رشته نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌ها است که در ۳ حوزه: مواد، ابزار و سیستم‌ها قابل تقسیم است. هم‌چنین مبالغه نیست اگر بگوییمW انسان در معرض یک انقلاب اجتماعی تسریع شده و قدرتمند است که ناشی از علم نانوتکنولوژی است. نانومواد در مقایسه با مواد معمولی دارای خواص بسیار بهتری هستند؛ زیرا ساختار آنها تحت کنترل بوده و با دقت بالایی شکل می‌گیرند. شکل (۱۰ــ۱) قسمتی از ساختمان منظم و بی‌عیب و نقص یک ماده نانو را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ــ۱ــ ساختار منظم و بدون نقص یک ماده تولید شده با استفاده از فناوری نانو

کاربردهای نانو تکنولوژی: تأثیر فناوری نانو بیش از هر چیز در زمینه ساخت مواد جدید می‌باشد. از طریق نانوفناوری می‌توان موادی با استحکام و مقاومت بالا در مقابل حرارت، سایش، فشار، کشش و وزن کم تولید کرد که از نظرخواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، مکانیکی، حرارتی با مواد معمولی تفاوت دارند. ساختارهایی در مقیاس نانو مانند نانو ذرات و نانولایه‌ها دارای نسبت سطح به حجم بالایی هستند که آنها را برای استفاده در تولید مواد کامپوزیت، کاتالیزور واکنش‌های شیمیایی، تهیه دارو و منابع ذخیره انرژی ایده‌ال می‌سازد.

سرامیک‌های نانوساختاری غالبا سخت‌تر و غیرشکننده‌تر ازمواد مشابه در مقیاس بزرگ‌تر خود هستند. کاتالیزورهای مقیاس نانو راندمان واکنش‌های شیمیایی و احتراق را افزایش داده و به میزان چشمگیری از مواد زائد و آلودگی آن کم می‌کنند. وسایل الکترونیکی جدید با مدارهای کوچک‌تر، سرعت بیشتر و مصرف انرژی بسیار کمتر می‌توانند به کمک نانوساختارها به‌دست آیند. اینها تنها

اندکی از فواید و مزایای تولید مواد نانو می‌باشد. واقعیت آن است که علم بشری اینک در آستانه چنگ اندازی به عرصه‌ای است تا ساختارهای بی‌نظیری را با کارایی بسیار بالا بسازد که تاکنون بشر تصور آنها را هم نکرده است. به‌عنوان مثال :

۱ــ ساخت مواد بسیار سبک و محکم برای مصارف متداول

۲ــ ورشکستگی صنایع قدیمی‌مثل فولاد با ورود تجاری مواد جدید

۳ــ کاهش شدید تقاضا برای سوخت‌های فسیلی

۴ــ همه‌گیر شدن ابرکامپیوترهای بسیار قوی، کوچک و کم مصرف

۵ــ سلاح‌های سبک‌تر، کوچک‌تر، هوشمندتر، دوربردتر، ارزان‌تر و نامرئی در مقابل رادار

۶ــ شناسائی فوری کلیه خصوصیات ژنتیکی و اخلاقی افراد و استعداد ابتلا به بیماری در انسان

۷ــ ارسال دقیق دارو به اندام مورد نظر در بدن و افزایش طول عمر

۸ــ از بین بردن عوامل خطرناک جنگ‌های شیمیایی و میکروبی

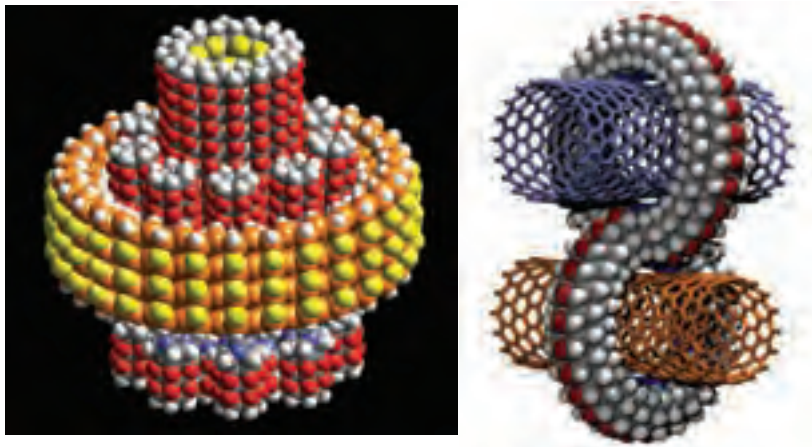
۹ــ از بین بردن آلاینده‌های شهری و صنعتی

۱۰ــ تولید لباس‌های همیشه تمیز و هوشمند

۱۱ــ تولید انبوه مواد و ابزارهایی که تا قبل از این عملی و اقتصادی نبوده‌اند

۱۲ــ و بسیاری از موارد غیر قابل پیش بینی دیگر

شکل(۱۱ــ۱) دو مدل از مواد کامپوزیتی را با استفاده از تکنولوژی نانو به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ۱ــ ساختار منظم و بدون نقص مواد مرکب (کامپوزیت)تولید شده با استفاده از فناوری نانو

فصل دوم

روش‌های استخراج فلزات

هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ فرآیندهای استخراج فلزات متداول صنعتی را نام ببرد.

۲ــ مراحل فرآیند استخراج فلزات را نام ببرد.

۳ــ مراحل آماده سازی سنگ آهن را شرح دهد.

۴ــ فرآیند احیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند را توضیح دهد.

۵ــ محصولات کوره بلند را نام ببرد.

۶ــ فرآیند تولید آهن به روش احیاء مستقیم را توضیح دهد.

۷ــ محصولات نیم‌ساخته کارخانه‌های فولادسازی را نام ببرد.

۸ــ استخراج فلزات به روش‌تر (هیدرومتالورژی) را شرح دهد.

۱ــ۲ــ آشنایی با فرآیندهای استخراج فلزات

به‌طور معمول عناصر فلزی در طبیعت به صورت خالص یافت نمی‌شوند، بلکه به صورت ترکیبات با عناصر دیگر در پوستهٔ زمین وجود دارند و نوع ترکیبات بستگی به مواد در تماس با عناصر فلزی و دمای محیط واکنش دارد.

به طور کلی در معادن موجود در سطح زمین بیشتر کانی‌های فلزی به صورت ترکیبات اکسیدی وجود دارند و در سطوح پایین‌تر سطح زمین ترکیبات سولفیدی بخش عمده این کانی‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. شکل (۱ــ۲) نمای یک معدن آهن را در سطح زمین نشان می‌دهد.

شکل ۱ــ۲ــ نمایی از معدن سنگ آهن در سطح زمین

در این فصل مراحل استخراج عناصر فلزی بر اساس دو روش پیرومتالورژی (متالورژی حرارتی) و هیدرومتالورژی (متالورژی‌تر) به‌صورت مختصر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲ــ۲ــ استخراج آهن

سنگ معدن آهن متشکل از کانی‌های متفاوت محتوی آهن می‌باشد که در جدول (۱ــ۲) مهم‌ترین آنها ذکر گردیده است این کانی‌ها همراه با ناخالصی‌های مختلف مثل : اکسید سیلیسیم، کربنات کلسیم، گوگرد، منگنز، ترکیبات فسفردار و غیره وجود دارند. سنگ‌های محتوی کانی آهن پس از استخراج از معدن تا مرحله انتقال به کوره احیاء باید از نظر شرایط فیزیکی، دانه‌بندی و نیز زدودن بخش عمده‌ای از ناخالصی‌ها آماده شوند. لازم به ذکر است که ارزش سنگ معدن آهن بر اساس درصد کانی آهن موجود در آن و ترکیب مواد باطله همراه تعیین می‌شود.

جدول ۱ــ۲ــ کانی‌های اصلی محتوی آهن در معادن سنگ آهن

نام کانی آهن	فرمول شیمیایی	حدود درصد آهن در کانی
ماگنتیت	Fe_3O_4	۷۲
هماتیت	Fe_2O_3	۷۰
لیمونیت	$FeO(OH)$	۶۲
سیدریت	$FeCO_3$	۴۸

توجه : سنگ معدن آهن مصرفی در کارخانه‌های فولادسازی ذوب آهن و فولاد مبارکه اصفهان به‌طور عمده مخلوطی از کانی‌های ماگنتیت و هماتیت است که از مرغوب ترین نوع سنگ معدن آهن به حساب می آید واز معادن چغارت واقع در ۱۴ کیلومتری شمال شرقی شهر بافق استان یزد استخراج می شود.

۱ــ۲ــ۲ــ آماده‌سازی سنگ آهن : آماده‌سازی سنگ آهن اولین مرحله از فرآیند استخراج آهن می‌باشد که درچند مرحله صورت می‌گیرد. شکل(۲ــ۲) مراحل جداسازی مواد باطله و پرعیار کردن سنگ آهن را نشان می‌دهد.

شکل ۲ــ۲ــ روند عمومی استخراج و پرعیارسازی سنگ‌های معدنی

الف) غربال کردن : با توجه به اینکه در مرحله استخراج، سنگ‌های معدنی با ابعاد و اندازه‌های متفاوتی به‌دست می‌آیند بنابراین در اولین مرحله لازم است سنگ‌های درشت جهت خرد شدن جدا شوند که به این جداسازی فیزیکی برحسب ابعاد سنگ، غربال کردن می‌گویند. (شکل ۳ــ۲) تجهیزات مربوط به غربال کردن مواد معدنی را نشان می‌دهد.

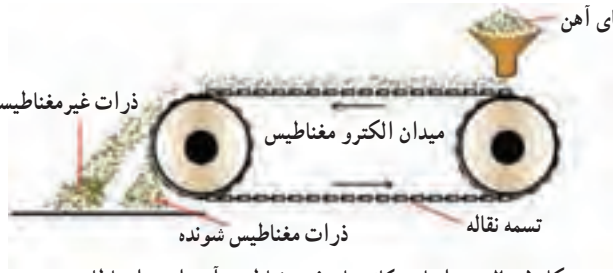
شکل ۳ــ۲ــ غربال سنگ معدن

ب) خرد کردن : سنگ‌های معدنی باید جهت اجرای عملیات تغلیظ و افزایش عیار، خرد شده و به‌صورت پودر درآیند. این کار برحسب جنس سنگ و درجه سختی آنها طی چندین مرحله توسط سنگ شکن‌ها و سپس آسیاب کردن صورت می گیرد. سنگ شکن‌ها دارای انواع مختلفی می‌باشند که در شکل (۴ــ۲) دو نمونه از این دستگاه‌ها نمایش داده شده‌اند.

شکل ۴ــ۲ــ دستگاه‌های سنگ‌شکن

ج) برعیار کردن مواد معدنی : در این مرحله هدف افزایش درصد کانی‌های محتوی آن در ماده معدنی خرد شده از طریق جداکردن مواد باطله و ناخالصی است که به روش‌های مختلفی صورت

می‌گیرد. در خصوص سنگ آهن یکی از روش‌های بسیار متداول استفاده از میدان مغناطیسی است. در این روش کانی‌های مغناطیس شونده آهن جذب میدان الکترومغناطیس شده و از مواد غیرمغناطیس جدا می‌شوند. این موضوع در شکل (۵ــ۲) نشان داده شده است.



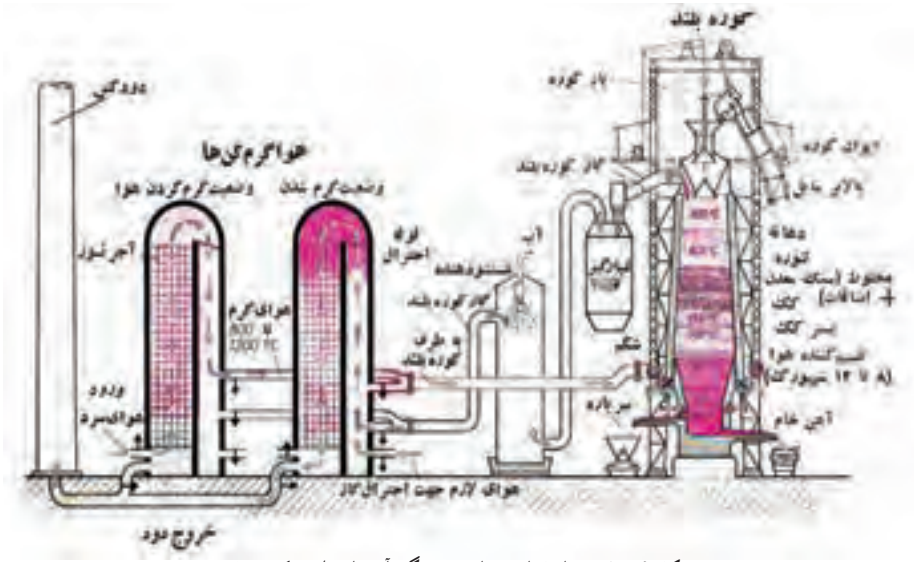
شکل ۵ــ۲ــ جداسازی کانی‌های فرومغناطیس آهن از مواد باطله

د) احیاء: مواد معدنی پرعیار شده نسبت به کانی‌های محتوی آهن پس از انتقال به کارخانه‌های فولادسازی به‌طور معمول به یکی از دو روش زیر احیاء می شود.

۱ــ احیاء از طریق کوره بلند (احیاء غیرمستقیم)

۲ــ احیاء به روش مستقیم

۲ــ۲ــ۲ــ فرآیند اِحیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند :شکل (۶ــ۲) نمایی از کوره بلند و تجهیزات جانبی آن را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می شود سنگ آهن پرعیار شده با



شکل ۶ــ۲ــ مراحل انجام اِحیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند

نسبت‌های معینی کک و آهک ($CaCO_3$)[1] مخلوط می‌شود و از قسمت فوقانی کوره بلند به صورت یکنواخت وارد آن می‌شوند. مراحل احیاء سنگ آهن در کوره بلند را می‌توان مطابق شکل(۷ــ۲) به چهار منطقه به شرح زیر تقسیم کرد. در کارخانه ذوب آهن اصفهان فرآیند احیاءِ سنگ آهن به این روش صورت می گیرد.

شکل ۷ــ۲ــ کوره بلند احیاء آهن در شرکت ذوب آهن اصفهان

الف) منطقه خشک کردن (منطقه گرم‌کننده) : این قسمت که در ناحیه فوقانی قرار دارد در اثر عبور گازهای داغ از لابلای مواد ورودی به کوره رطوبت آنها تبخیر می شود.

ب) منطقه احیاء : در این منطقه با افزایش دما، واکنش بین کانی‌های اکسید آهن و ماده احیاءکننده که بیشتر مونوکسید کربن (CO) است شروع می شود. واکنش‌های این منطقه را می‌توان بصورت ذیل نوشت.

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

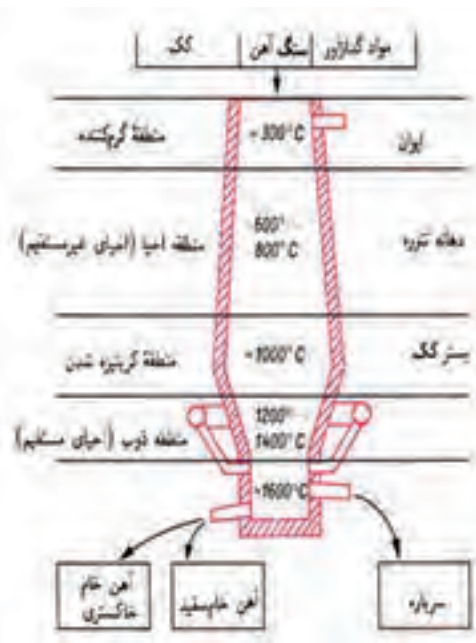
ج) منطقه کربنیزه شدن : در این منطقه که دما به حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد می رسد قسمتی از آهن احیاء شده ضمن حرکت به سمت پایین کوره با کک گداخته واکنش داده و ترکیب کاربید آهن حاصل می شود.

$$3Fe + C \rightarrow Fe_3C$$

د) منطقه ذوب : در ناحیه نزدیک به انتهای کوره که دما به حدود ۱۴۰۰ــ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد می‌رسد، باقی‌مانده اکسید آهن احیاء می‌شود؛ ضمن اینکه واکنش آهن با کربن نیز صورت می گیرد.

$$FeO + C \rightarrow Fe + CO\uparrow$$
$$Fe + C \rightarrow Fe_3C$$

۱ــ آهک به‌عنوان ماده کمک ذوب و سرباره‌ساز به کوره اضافه می‌شود که به حذف ناخالصی‌ها از مذاب کمک می کند.



شکل ۸ــ۲ــ نمایش شماتیک کوره احیاء و قسمت‌های اصلی آن

محصولات کوره بلند : محصول اصلی خارج شده از کوره بلند آهن خام نام دارد که دارای ۳ تا ۴ درصد کربن به اضافه عناصر ناخالصی مثل : سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد است که برحسب مقدار عناصر همراه دو نوع آهن خام از کوره خارج می‌شود.

ــ **آهن خام سفید** : محتوی ۳/۵ تا ۴ درصد کربن، ۰/۱ تا ۰/۲ درصد سیلیسیم، ۱ تا ۴ درصد منگنز، حدود ۰/۳ درصد فسفر و ۰/۰۴ درصد گوگرد است.

ــ **آهن خام خاکستری** : محتوی ۳/۵ تا ۴ درصد کربن، ۱/۵ تا ۳ درصد سیلیسیم، حدود ۱ درصد منگنز، ۰/۳ تا ۲ درصد فسفر و ۰/۰۶ درصد گوگرد است.

۳ــ۲ــ۲ــ تولید آهن خام به روش احیاء مستقیم : در این فرآیند ابتدا مواد نرمه محتوی اکسید آهن پس از اضافه کردن مقدار کمی‌آب،آهک و مواد افزودنی دیگر به‌وسیله سینی‌های بزرگ دوار به صورت گلوله‌های کوچکی تبدیل می‌شوند که گندوله نامیده می‌شوند (شکل ۹ــ۲). در واحد احیاء گندوله‌ها از قسمت فوقانی وارد کوره‌های احیاء می‌شوند. در این فرآیند به‌جای زغال سنگ (کک) از گاز طبیعی برای احیاء کانی‌های اکسید آهن استفاده می‌شود. عملیات احیاء بدون ذوب شدن سنگ آهن (گندوله‌ها) صورت می‌گیرد و از انتهای کوره، آهن

اسفنجی با ۹۲ تا ۹۶ درصد آهن خارج می‌شود. در این روش علاوه بر افزایش سرعت تولید، هزینه‌ها و تأسیسات جانبی کاهش می‌یابد. ضمن اینکه آلودگی‌های زیست محیطی و مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد. از این فرآیند در شرکت فولاد مبارکه اصفهان استفاده می شود که تجهیزات مربوط به واحد احیاء مستقیم این واحد فولادسازی در شکل (۱۰ــ۲) مشاهده می‌شود.

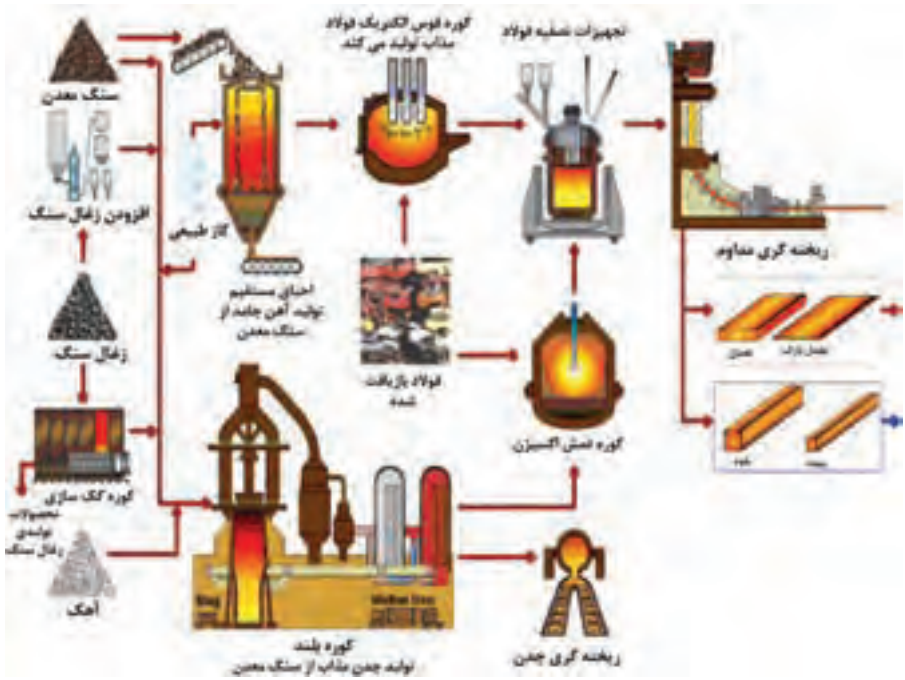
شکل ۱۰ــ۲ــ نمایی از کوره‌های احیاء مستقیم مجتمع فولاد مبارکه اصفهان

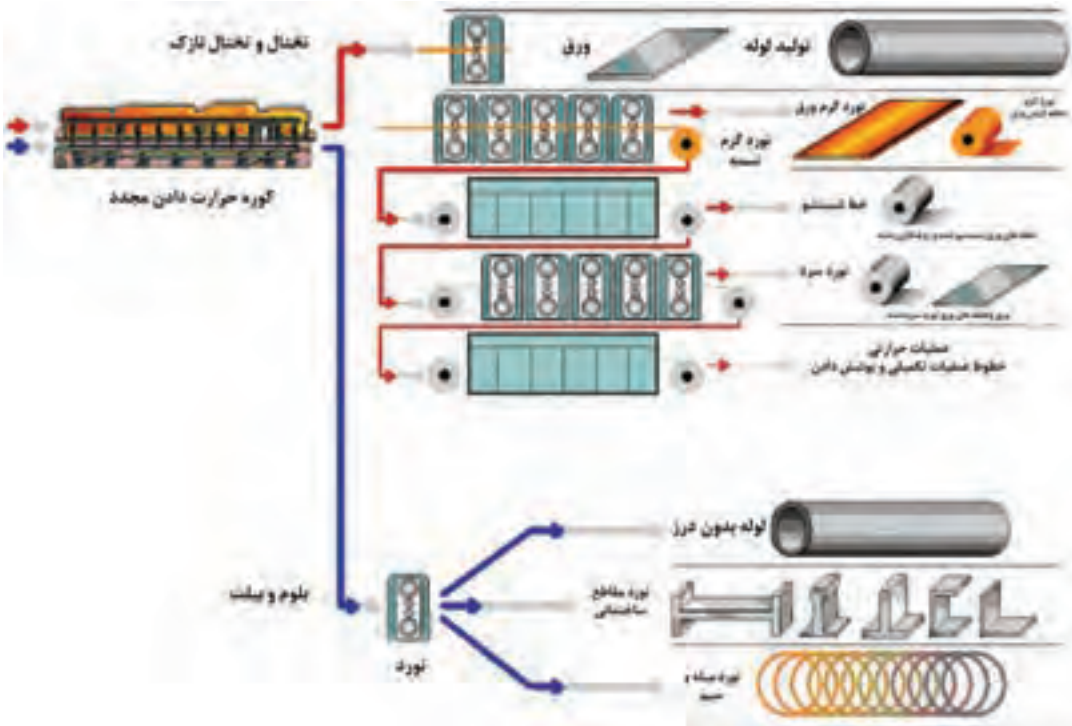
۳ــ۲ــ تولید فولاد از آهن خام

محصول خارج شده از کوره‌های احیاء سنگ آهن (به‌صورت مستقیم یا کوره بلند) دارای مقدار زیادی کربن و عناصر ناخواسته و مضر دیگر نظیر گوگرد و فسفر می‌باشد. چنین آلیاژی قابلیت شکل پذیری، چکش خواری و جوشکاری ندارد. بنابراین لازم است عناصر اضافی و مزاحم به حد مناسبی کاهش یابند.

اساس روش‌های کاهش عناصر اضافه و مزاحم، دمیدن اکسیژن به مذاب آهن خام و سوختن عناصر مزاحم موجود در مذاب تا حد قابل قبول است. هر چند این فرآیند در طول زمان از نظر سرعت، کارآیی و کم کردن هزینه پیشرفت نموده ولی اساس آن تغییر نکرده است.

در شکل (۱۱ــ۲) مراحل احیاء سنگ آهن به‌روش مستقیم، تصفیه و فولادسازی، ریخته‌گری و نورد محصولات نیم ساخته جهت تولید ورق و انواع پروفیل‌های فولادی به‌طور شماتیک نشان داده شده است.





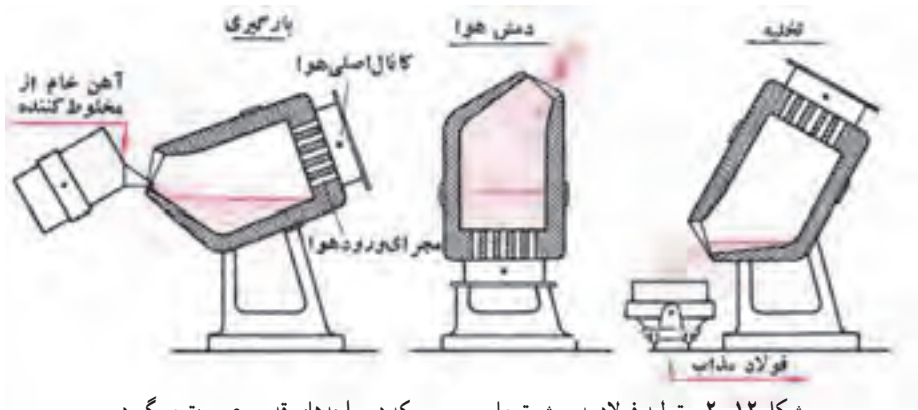
شکل ۱۱ــ۲ــ مراحل استخراج آهن از سنگ معدن، فولادسازی و تولید محصولات از نیم ساخته‌های فولادی

عملیات تصفیه مذاب آهن خام و فولادسازی به‌طور عمده توسط یکی از روش‌های زیر صورت می‌گیرد :

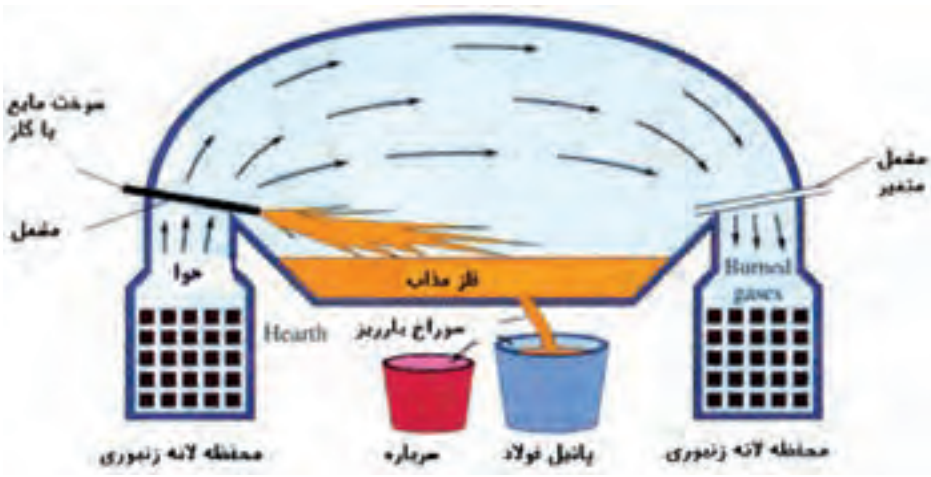
۱ــ روش توماس ــ بسمر

۲ــ روش زیمنس ــ مارتین

۳ــ روش کوره قوس الکتریکی

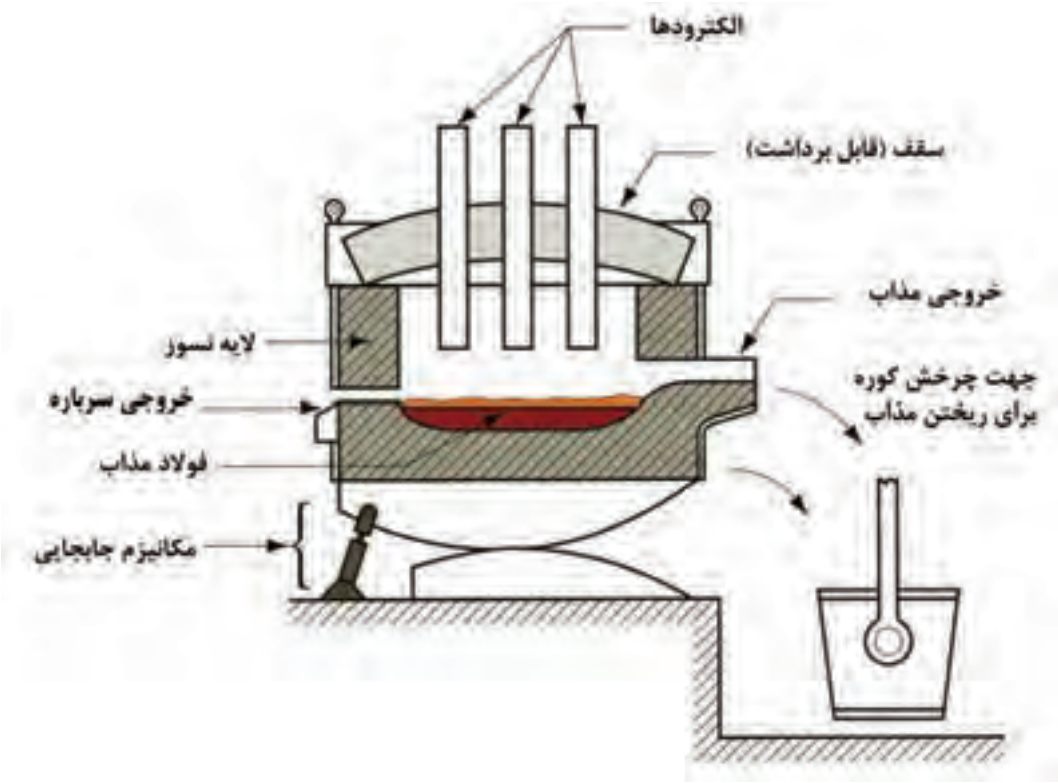


شکل ۱۲ــ۲ــ تولید فولاد به روش توماس ــ بسمر که در واحدهای قدیمی صورت می‌گیرد



شکل ۱۳ــ۲ــ کوره زیمنس ــ مارتین که نسبت به روش توماس جدیدتر است.

فولادسازی درکوره‌های قوس الکتریکی یکی از روش‌های جدید متداول و مدرن فولادسازی به‌شمار می‌رود شکل(۱۴ــ۲).



شکل ۱۴ــ۲ــ کوره قوس الکتریکی

در هر یک از فرآیندهای فولادسازی پس از تصفیه مذاب آهن خام و رساندن مقدار عناصر مضر یا اضافی به حد مطلوب، عناصر آلیاژی موردنظر را به مذاب اضافه می‌کنند و اقدام به کار تولید فولاد آلیاژی می‌نمایند.

۴ــ۲ــ تولید محصولات فولادی

همان‌طور که در شکل (۱۱ــ۲) ملاحظه گردید، مذاب آهن پس از تصفیه و رسیدن به ترکیب آلیاژی از پیش تعیین شده به کمک روش‌های ریخته‌گری و شکل دهی به صورت نیم ساخته فلزی یا محصول نهایی به بازار عرضه می‌شوند. در نمودار (۱ــ۲) و شکل (۱۵ــ۲) محصولات متداول شرکت‌های فولادسازی نشان داده شده است.

نمودار ۱ــ۲ــ محصولات متداول شرکت‌های فولادسازی

شکل ۱۵ــ۲ــ انواع متداول محصولات کارخانه‌های فولادسازی

۵ــ۲ــ استخراج فلزات به روش تر یا هیدرومتالورژی

فرآیندی که در آن از کوره‌های مختلف برای احیاء کانی‌های محتوی ترکیبات اکسیدی فلزات استفاده می‌گردد نظیر آنچه در فرآیند استخراج آهن ملاحظه شد در اصطلاح روش پیرومتالورژی یا متالورژی حرارتی نامیده می‌شود. روش هیدرومتالورژی نسبت به روش پیرومتالورژی مقرون به صرفه‌تر بوده و میزان مصرف انرژی و نیز آلودگی محیط زیست در آن کمتر می‌باشد. این روش برمبنای انحلال شیمیایی عناصر از کانی‌های معدنی و سپس رسوب کاتیون‌های فلز مورد نظر از محلول با استفاده از جریان الکتریکی انجام می‌شود. به‌طور معمول استخراج به روش‌تر بیشتر برای استخراج فلزات غیر آهنی به‌کار می‌رود. در حال حاضر در مجتمع مس سرچشمه برای استخراج مس و کارخانه سرب و روی زنجان برای استخراج روی از این روش استفاده می‌شود.

۱ــ ۵ ــ۲ــ مراحل استخراج فلز به روش هیدرومتالورژی : در شکل (۱۶ــ۲) مراحل مختلف فرآیند استخراج فلز مس به روش هیدرومتالورژی نشان داده شده است. این مراحل را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد :

۱ــ استخراج سنگ از معدن و انتقال آنها به محل مناسب

۲ــ تزریق حلال مناسب جهت حل کردن عنصر فلزی مورد نظر از ترکیب سنگ معدن

۳ــ جمع‌آوری محلول محتوی کاتیون[1]های عنصر مورد نظر

۴ــ انتقال محلول جمع آوری شده به حوضچه‌هایی جهت رسوب ذرات جامد موجود در محلول و مواد مزاحم دیگر

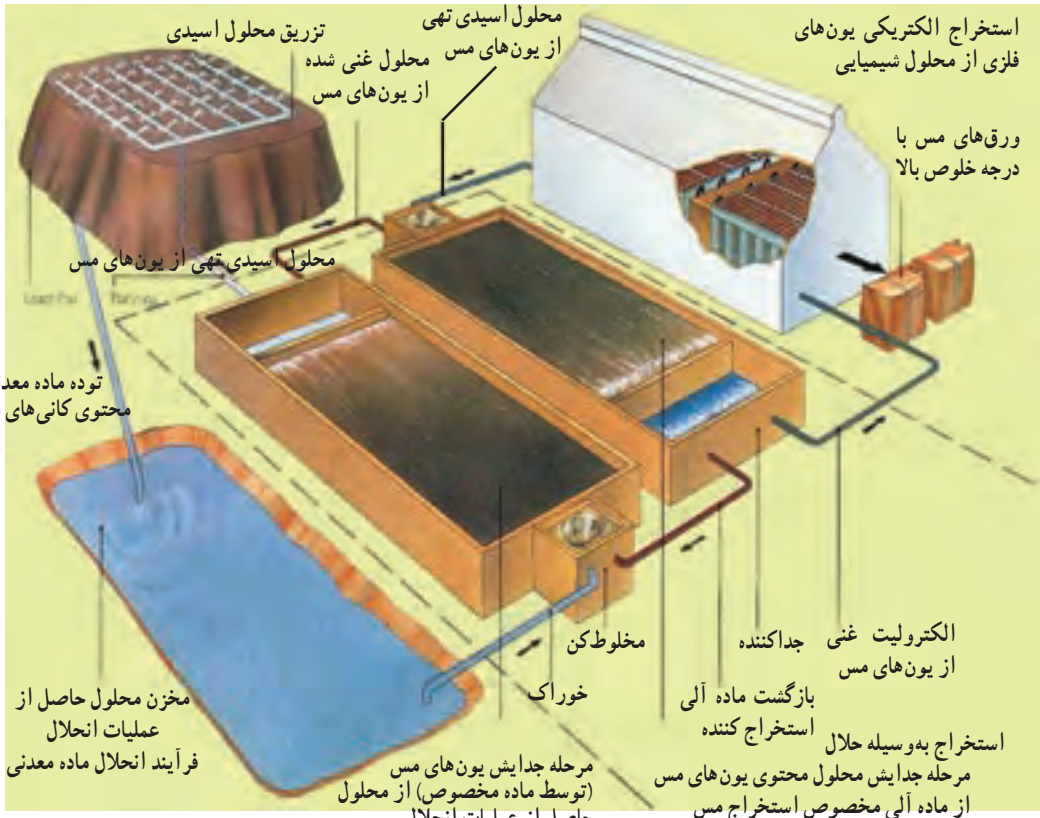
۵ــ افزایش عیار محلول نسبت به یون فلز مورد نظر با استفاده از مواد شیمیایی مناسب

۶ــ انتقال محلول پرعیار شده به سل‌های الکتروونینگ[2] و رسوب کاتیون‌های فلز مورد نظر با استفاده از جریان الکتریکی روی سطح الکترودهای کاتد

۷ــ جمع‌آوری ورق‌های کاتدی پس از تشکیل رسوب فلزی (شکل ۱۷ــ۲) و تکرار سیکل فوق

۱ــ به یون‌های با بار مثبت کاتیون می‌گویند.

۲ــ الکتروونینگ یا بازیابی الکتریکی به معنای استخراج فلز از محلول آبی محتوی یون فلز با استفاده از جریان الکتریکی می‌باشد.



شکل ۱۶ــ۲ــ مراحل استخراج فلز مس به روش هیدرومتالورژی

شکل ۱۷ــ۲ــ ورق‌های مسی تولید شده در کارخانه الکتروونینگ مجتمع مس سرچشمه

آزمون پایانی

۱ــ مراحل آماده‌سازی سنگ آهن را نام برده و به‌صورت مختصر توضیح دهید.

۲ــ روش‌های احیای سنگ آهن را نام برده و تفاوت آنها را ذکر نمایید.

۳ــ یک کوره بلند ترسیم نمایید و مناطق مختلف آن را نام ببرید.

۴ــ مزایای روش احیای مستقیم نسبت به روش احیا از طریق کوره بلند چیست؟

۵ــ انواع نیم‌ساخته‌های فولادی را نام ببرید. (۴ مورد)

۶ــ تفاوت روش پیرو متالورژی و هیدرومتالورژی چیست؟

۷ــ برحسب مقدار عناصر همراه ناخالصی چند نوع آهن خام را که از کوره بلند خارج می‌شود؟ نام ببرید.

۸ــ کدام‌یک سنگ معدن آهن نیست؟

الف) کالکوسیت ب) هماتیت ج) ماگنتیت د) سیدریت

۹ــ برای احیای سنگ آهن در کارخانه‌های فولادسازی شرکت‌های فولاد مبارکه و ذوب آهن اصفهان به ترتیب از کدام روش استفاده می‌شود؟

الف) فولاد مبارکه به‌روش کوره بلند و ذوب آهن به روش احیای مستقیم

ب) هر دو به روش کوره بلند

ج) فولاد مبارکه به روش احیای مستقیم و ذوب آهن به روش کوره بلند

د) هر دو به روش احیای مستقیم

۱۰ــ اساس کاهش عناصر ناخالصی در مذاب آهن خام چیست؟

الف) دمش هیدروژن ب) دمش اکسیژن

ج) دمش آرگون د) دمش نیتروژن

فصل سوم

ساختار و خواص فلزات

هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ ساختارهای بلوری فلزات صنعتی پرکاربرد را بیان کند.

۲ــ سه خاصیت مرتبط با ماهیت پیوند فلزی را بیان کند.

۳ــ تفاوت بین ساختارهای بلوری در فلزات را توضیح دهد.

۴ــ خواص فیزیکی فلزات را توضیح دهد.

۵ــ خواص مکانیکی فلزات را توضیح دهد.

۶ــ خواص تکنولوژیکی فلزات را بیان نماید.

۷ــ عوامل مؤثر روی خواص فلزات را بیان کند.

۱ــ۳ــ مقدمه

شاید تا به‌حال از خود پرسیده باشید که چرا مواد مختلف با هم متفاوتند؟ چرا برخی از آنها محکم‌تر از سایرین هستند؟ چرا برخی از مواد رسانا و برخی نارسانا می‌باشند؟ چرا نور می‌تواند از بعضی از مواد عبور کند و از بعضی دیگر نه؟

سؤال‌هایی از این دست ذهن را متوجه تفاوت‌های مواد از نظر خواص می‌کند و ما را در رابطه با علت این تفاوت‌ها، به تفکر بیشتر وادار می‌کند. با اطلاعاتی که ما از ساختمان عناصر و تفاوت‌های موجود در آنها داریم شاید گمان کنیم که تفاوت‌های موجود در مواد مختلف حاصل تفاوت‌های عناصر تشکیل دهنده آنها است. با این تفکر خواص مواد تنها متأثر از تنوع عناصر تشکیل‌دهنده آنها خواهد بود و تمامی‌ویژگی‌های رفتاری مواد باید با شناخت عناصر تشکیل‌دهنده آنها روشن شده و همه اسرار مربوط به خصوصیات مواد آشکار گردد. به‌راستی با دانستن ترکیب شیمیایی، خواص مواد معلوم می‌شود؟

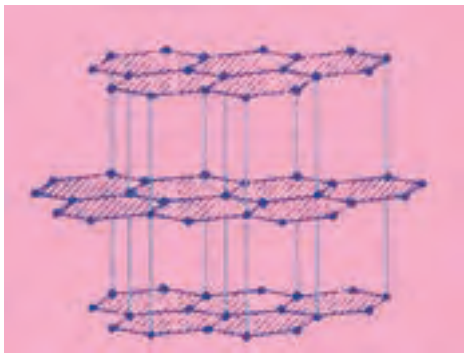
با کمی‌دقت و توجه به ترکیبات شیمیایی مواد پیرامون خود درمی‌یابیم که بسیاری از آنها با وجود این‌که در رفتار و خواص با یکدیگر تفاوت دارند ولی دارای عناصر تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی یکسان می‌باشند و برخی دیگر از مواد با داشتن عناصر تشکیل دهنده متفاوت، دارای خواص و رفتار مشابهی هستند. پس چه چیزی به‌جز ترکیب شیمیایی موجب تفاوت در رفتار و خواص مواد می‌شود؟ برای جواب این سؤال لازم است کمی‌بیشتر با ساختار مواد آشنا شویم.

۲ــ۳ــ ساختار مواد

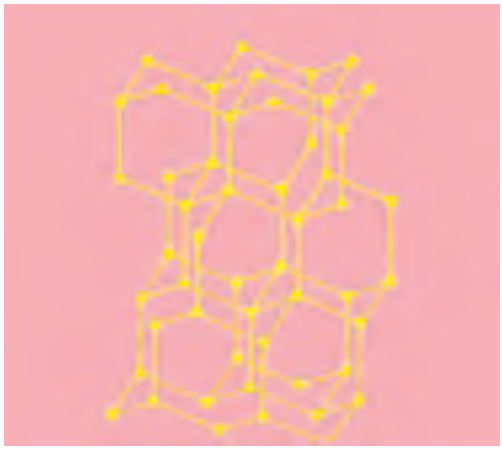
ساختار ماده چگونگی ارتباط بین اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن ماده را مشخص می‌کند. با پیوندهای شیمیایی که نحوه اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها را مشخص می‌کنند، در درس‌های گذشته آشنا شده‌اید. در اینجا برای روشن شدن تأثیر ساختار روی خواص مواد مثال معروفی را ارائه می‌کنیم. همان‌طور که می‌دانید گرافیت و الماس هر دو از اتم‌های کربن تشکیل شده‌اند. اما چرا خواص گرافیت و الماس خیلی با یکدیگر متفاوت است؟ الماس به عنوان سخت‌ترین ماده طبیعی معرفی می‌گردد و گرافیت به دلیل نرمی بسیار، به عنوان ماده «روانساز» به‌کار گرفته می‌شود! تفاوت خواص گرافیت و الماس مربوط به نحوه اتصال و آرایش فضایی اتم‌های کربن در ساختار آنها بستگی دارد.

مطابق شکل (۱ــ۳) ملاحظه می‌کنید در گرافیت اتم‌های کربن شش ضلعی‌های پیوسته‌ای تشکیل می‌دهند که در یک سطح گسترده است. لایه‌های شش ضلعی متشکل از اتم‌های کربن با

قرار گرفتن روی هم، حجمی‌را تشکیل می‌دهند که به آن گرافیت می‌گوییم. در ساختار گرافیت دو نوع اتصال وجود دارد : یک نوع اتصال، اتصالی است که بین اتم‌های کربن هر لایه وجود دارد و از نوع پیوند کوالانسی است. نوع دوم اتصالی است که لایه‌ها را به یکدیگر وصل می‌کند و ضعیف‌تر از پیوند کوالانسی است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با اعمال نیرو لایه‌های کربنی بر روی یکدیگر بلغزند. در مقابل الماس دارای یک ساختار شبکه‌ای است. یعنی بر خلاف گرافیت که پیوندهای اتمی تنها در یک سطح قرار دارند و ساختار لایه‌ای دارد، در ساختار الماس پیوندها به‌صورت شبکه‌ای سه بعدی فضا را پر می‌کنند. در ساختار گرافیت هر اتم کربن با سه اتم کربن دیگر اتصالی از جنس کوالانسی ایجاد می‌کند، در حالی‌که در ساختار الماس هر اتم کربن با چهار اتم کربن دیگر پیوندی از جنس کوالانسی برقرار می‌نماید (شکل ۲ــ۳).



شکل ۱ــ۳ــ ساختار گرافیت



شکل ۲ــ۳ــ ساختار الماس

با این توضیحات مشخص شد دلیل نرمی گرافیت و سختی الماس در چیست. همان‌طور که دیدید ساختار (نوع، تعداد و چگونگی ایجاد پیوند) تأثیر زیادی روی خواص مواد دارد. بنابراین از طریق مطالعه و آشنایی با ساختار مواد، بسیاری از رفتارها و خواص آنها را می‌توان پیش‌بینی کرد. همچنین برای دستیابی به خواص مورد نظر می‌توان ساختاری متناسب با اهداف دلخواه طراحی و ایجاد نمود.

۳ــ۳ــ ریزساختار مواد

با شناختی که نسبت به ساختار مواد پیدا کرده‌اید، ممکن است گمان کنید توده موادی که ما در اطراف خود می‌بینیم از نظم گسترده در ساختار اولیه خود به‌وجود آمده‌اند. به عبارت دیگر شکل‌گسترش یافته ساختار اولیه خود هستند و بنابراین تمامی‌خواص و رفتار ساختار اولیه خود را دارا خواهند بود. این تصور با مشاهدات رفتار مواد متفاوت است. به‌عنوان مثال در ساختار گرافیت ما انتظار داریم که استحکام در راستاهای مختلف لایه‌ها متفاوت باشد زیرا ساختار اولیه در جهت صفحات لانه زنبوری دارای استحکام بالا و در جهت عمود بر این صفحات دارای استحکام کمی است. بنابراین گرافیت فقط در برخی جهات خاص می‌بایست قابلیت حرکت لایه‌ها بر روی یکدیگر را داشته باشد. می‌دانید از گرافیت به عنوان ماده اصلی مغز مداد استفاده می‌شود و اثری که از مداد بر روی کاغذ باقی می‌ماند در حقیقت لایه‌های نازک گرافیت است که با مالش نوک مداد بر روی کاغذ، از سطح آن کنده شده و بر روی کاغذ می‌چسبد و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد لایه‌های گرافیت به دلیل پیوند ضعیف ثانویه امکان لغزش و حتی جدا شدن از یکدیگر را دارند.

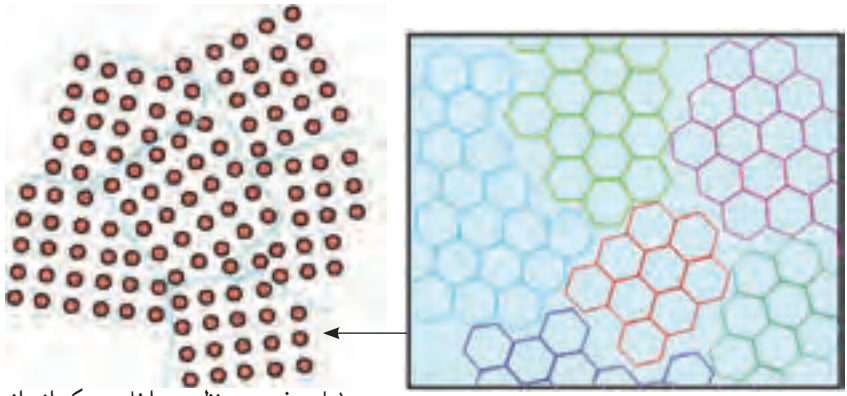
شکل ۳ــ۳ــ مداد تحریر که با آن می‌نویسیم

حال سؤال اینجاست که اگر توده گرافیت گسترش همان ساختار اولیه گرافیت باشد، باید مداد تنها در یک جهت خاص قابلیت نوشتن داشته باشد زیرا ساختار گرافیت تنها لغزیدن و کنده شدن لایه‌ها از توده و چسبیدن‌شان به سطح کاغذ را در جهت خاصی میسر می‌سازد و در غیر از آن جهات خاص به‌دلیل وجود پیوندهای قوی درون هر لایه، امکان کنده شدن وجود نخواهد داشت.

این تعبیر به آن معنی است که مداد تنها در برخی جهات خاص می‌نویسد و در دیگر جهات مداد نخواهد نوشت؛ ولی این تصور با تجربه هر روزه ما از به‌کارگیری مداد متفاوت و متناقض است زیرا به تجربه دریافته‌ایم که مداد در تمامی‌جهات می‌نویسد. ما مداد را در هر زاویه و هر جهتی نسبت به کاغذ حرکت دهیم مداد خواهد نوشت. پس دلیل این تناقض چیست؟ آیا ساختار گرافیت آنگونه که گمان می‌کنیم نیست؟ و یا اینکه توده گرافیت چیزی غیر از گسترش یکنواخت و یکپارچه ساختار گرافیت است؟

برای درک درست از رفتار توده مواد لازم است که با ریزساختار آنها آشنا شویم. با بررسی میکروسکوپی گرافیت درمی‌یابیم که توده گرافیت یکپارچه نیست بلکه این توده متشکل از دانه‌های بسیار ریزی است که هر یک به صورت مستقل و جدا از یکدیگر در درون خود دارای نظم ساختار گرافیت هستند. به‌عبارت دیگر مطابق شکل (۴ــ۳) توده گرافیت را می‌توان اجتماع بی‌نظمی‌از

بخش‌هایی که هر یک دارای نظم ساختار گرافیت هستند، دانست.



(علی رغم وجود نظم در داخل هر یک از دانه‌ها
ولی جهت‌گیری دانه‌های ماده با یکدیگر متفاوت است).

شکل ۴ــ۳ــ طرحی ساده از ریزساختار واقعی گرافیت

در تصور اول ما توده گرافیت را یک ساختار یکپارچه و منظم از ساختار گرافیت که در تمام توده گسترش یافته می‌دانستیم در این حالت نظم حاکم بر ساختار، یک نظم با دامنه بلند که تمام توده را می‌پوشاند در نظر گرفته می‌شود اما در عمل نظم ساختار گرافیت به صورت موضعی و با دامنه کوتاه مشاهده می‌شود. این بی‌نظمی‌در ساختار گرافیت باعث ایجاد تنوع و گوناگونی در جهت قرار گرفتن دانه‌ها در توده گرافیت می‌شود. بنابراین در موقع نوشتن همیشه بخش‌هایی که زاویه و جهت مناسب برای حرکت و کنده شدن داشته باشند، وجود خواهد داشت و ما بدون نگرانی از جهت و زاویه قرار گرفتن مداد می‌توانیم از نوشتن آن مطمئن شویم.

بدین ترتیب مشخص گردید که عوامل تأثیرگذار در خواص توده مواد عبارت بودند از :

۱ــ عناصر یا اتم‌های تشکیل دهنده

۲ــ ساختار

۳ــ ریزساختار

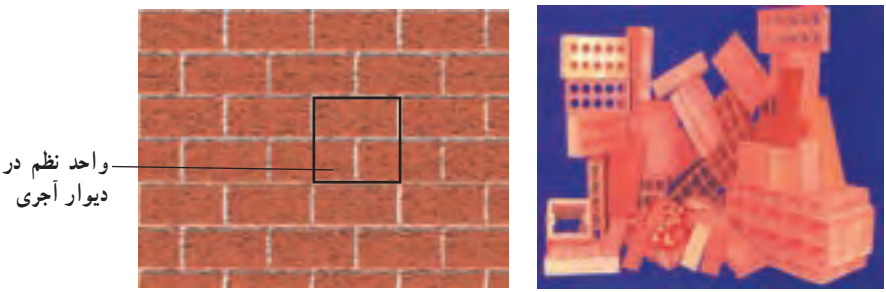
۴ــ۳ــ ساختار بلوری فلزات

در حالت کلی مواد جامد دو نوع ساختار اتمی دارند. یک دسته ساختار کریستالی دارند؛یعنی آرایش اتم‌ها در ساختمان داخلی آنها براساس یک نظم و الگوی تکرارشونده از واحدهایی به نام سلول

واحد می‌باشد. به عبارت دیگر ساختار مواد دارای شبکه کریستالی با کنار هم قرار گرفتن تعداد بسیار زیادی از سلولهای واحد تشکیل شده است. فلزات و آلیاژهای آنها جزء مواد با ساختار کریستالی هستند. برای درک بهتر موضوع به مثال زیر توجه کنید.

فرض کنید یک کامیون آجر توسط یک کمپرسی تخلیه شود و هریک از آجرها نماد یک اتم باشند، در این حالت شما بی نظمی را مشاهده می کنید.

اما اگر مطابق شکل (۵ــ۳) آجرها توسط یک بنا به صورت مرتب و منظم روی هم چیده شود شما یک ساختار منظم از آجرها را مشاهده می‌کنید که دارای نظم تکرارشونده از واحد نظم خود می‌باشند. این موضوع را به ساختار اتمی‌جامدات نیز می توان تعمیم داد.



شکل ۵ــ۳ــ واحد نظم در دیوار آجری

دسته دیگر مواد جامد آنهایی هستند که دارای نظم مشخصی در ساختار خود نیستند که در اصطلاح آمورف گفته می شوند. در این مواد قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر تقریباً بدون نظم و ترتیب خاصی است، مثل : شیشه، و بسیاری از مواد سرامیکی، پلاستیک و لاستیک به‌طور معمول دارای ساختار اتمی‌آمورف هستند.

فلزات و آلیاژهای آنها در حالت جامد همان‌طور که پیشتر گفته شد به‌طور معمول دارای ساختار کریستالی هستند و در چهارده شکل مختلف متبلور می شوند ولی اکثر فلزات صنعتی متداول دارای سه نوع نظم اتمی‌یا شبکه کریستالی هستندکه در این فصل به معرفی مختصر این سه نوع شبکه کریستالی اکتفا می‌شود.

الف) سلول واحد مکعبی مرکزدار (BCC) [۱] : در این نوع شبکه بلوری، سلول واحد به‌صورت یک مکعب فرض می‌شود که در هر گوشه به اضافه مرکز مکعب یک اتم مستقر می‌باشد.

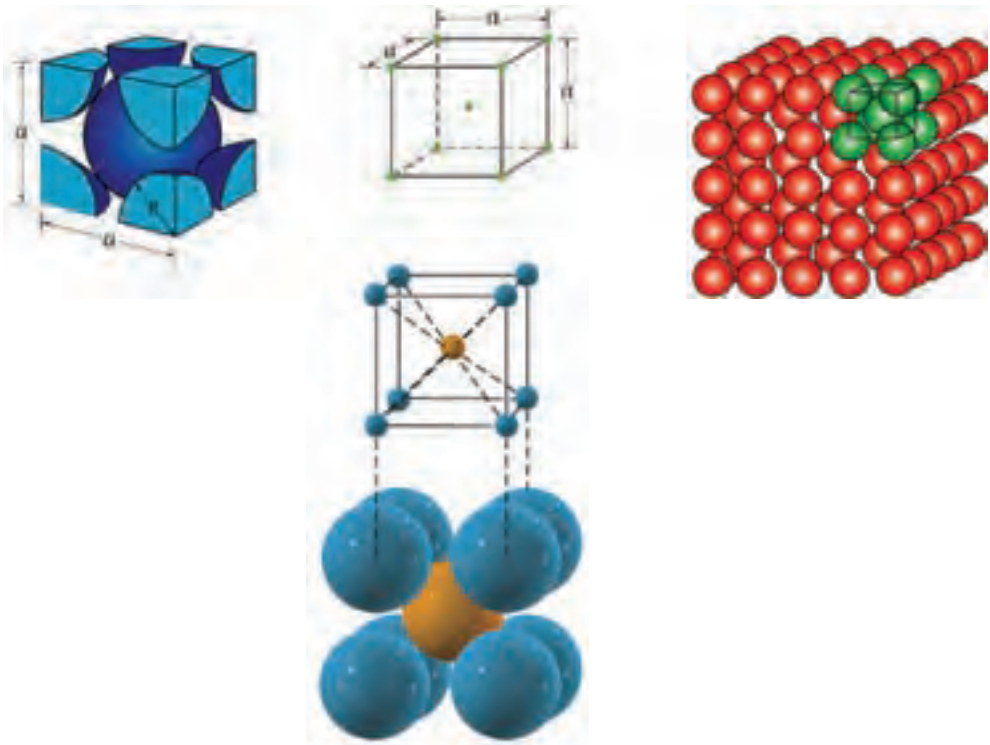
۱ــ Body Contered Cubic

همان‌طور که در شکل (۴ــ۳) بصورت شماتیک نمایش داده شده است در اینجا اتم‌های مستقر در هر گوشه مکعب با هشت سلول واحد مجاور خود مشترک هستند(اتم‌های آبی رنگ). سهم سلول واحد از هر اتم گوشه معادل $\frac{۱}{۸}$ می‌باشد لذا با توجه به اینکه ۸ اتم در گوشه‌ها قرار دارند بنابراین سهم شبکه BCC از اتم‌های گوشه برابر یک اتم می‌باشد $(۸\times\frac{۱}{۸}=۱)$.

اتم واقع در مرکز مکعب تنها به این سلول واحد تعلق دارد (اتم قهوه‌ای رنگ). بدین ترتیب در فضای سلول واحد BCC معادل دو اتم قرار دارند و بقیه، فضای خالی بین اتم‌ها است. به عبارت دیگر حجم اشغال شده در شبکه کریستال BCC معادل ۶۸ درصد فضای سلول واحد می‌باشد.

محاسبه تعداد اتم‌ها در شبکه کریستالی BCC $(۸\times\frac{۱}{۸})+۱=۲$

لازم به ذکر است بسیاری از فلزات نظیر : آهن، کرم، تنگستن، وانادیم و مولیبدن در دمای محیط دارای شبکه بلوری BCC می باشند.

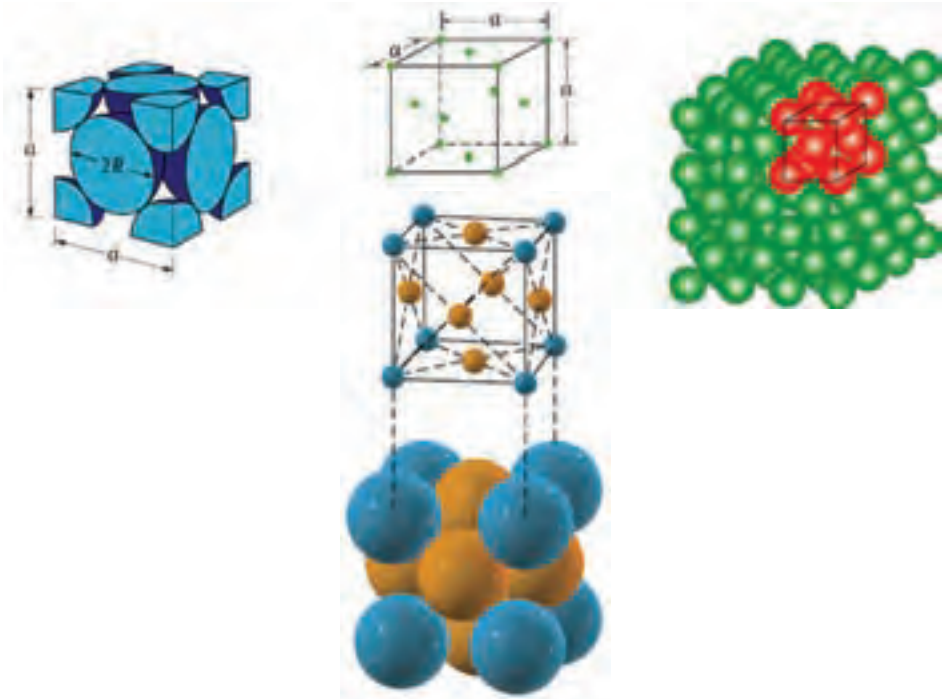


شکل ۶ــ۳ــ شبکه کریستالی مکعبی مرکز پر

ب) سلول واحد مکعبی با وجود مرکز پر (FCC)[1] : در این نوع شبکه بلوری سلول واحد به صورت یک مکعب در نظر گرفته می شود که در هر گوشه و مرکز وجوه آن یک اتم قرار دارد. مطابق شکل (۷ــ۳) هر اتم گوشه با هشت سلول واحد مجاور خود مانند شبکه کریستالی BCC مشترک است (اتم‌های آبی رنگ) و هر اتم واقع در مراکز وجوه شش گانه مکعب تنها بین دو سلول واحد مجاور هم مشترک می باشند (اتم‌های قهوه‌ای رنگ). به‌عبارت دیگر حجم اشغال شده در شبکه کریستالی FCC معادل ۷۴ درصد فضای سلول واحد است :

$$(۸ \times \frac{۱}{۸}) + (۶ \times \frac{۱}{۲}) = ۴$$

محاسبه تعداد اتم‌ها در شبکه کریستالی FCC : بنابراین در ساختار FCC حجم اشغال شده هر سلول واحد در مجموع معادل چهار اتم کامل است و بقیه فضای موجود، فضای خالی بین اتم‌ها است. فلزاتی مثل : مس، آلومینیوم، نقره، طلا، پلاتین، نیکل و سرب در دمای معمولی دارای شبکه کریستالی FCC می‌باشند.

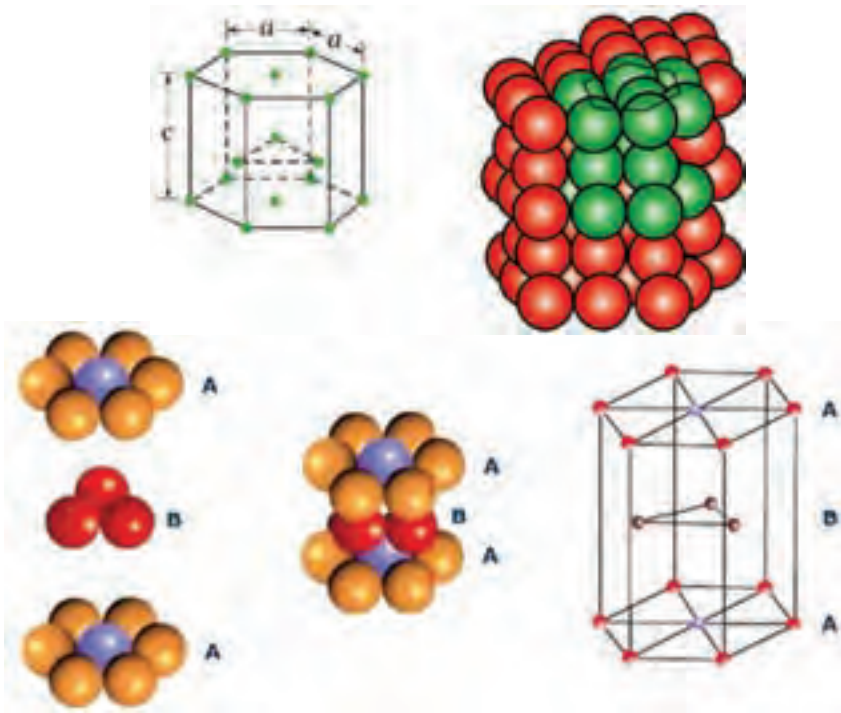


شکل ۷ــ۳ــ شبکه کریستالی مکعبی با وجوه مرکز پر

۱ــ Face Centered Cubic

ج) سلول واحد منشور با قاعده شش ضلعی فشرده (HCP) [1] : نمایش شماتیک این سلول واحد در شکل (۸ــ۳) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود سلول واحد به‌صورت یک منشور شش وجهی است که دوازده اتم در گوشه‌ها و دو اتم در وسط وجوه بالا و پایین آن قرار گرفته‌اند. اضافه بر این سه اتم در وسط صفحات میانی مستقر می‌باشند. بدین ترتیب تعداد اتم‌های متعلق به یک سلول واحد HCP در مجموع معادل شش است (یک ششم به ازاء هر یک از اتمهای گوشه، یک دوم به ازاء اتمهای وجوه بالا و پایین و سه اتم متعلق به صفحات میانی که مختص هر سلول واحد می‌باشد) و حجم اشغال شده در شبکه کریستالی HCP معادل ۷۴ درصد فضای سلول واحد است. فلزاتی مثل : روی، منگنز، کادمیم، تیتانیوم، کبالت و منیزیم در دمای محیط ساختار بلوری HCP دارند.

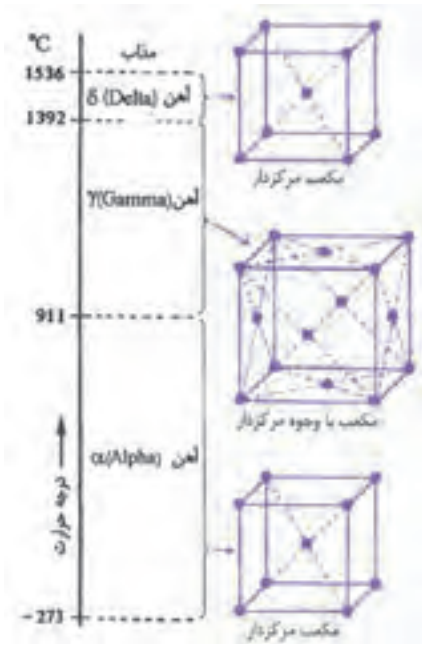
محاسبه تعداد اتم‌ها در شبکه کریستالی HCP $(۱۲\times\frac{۱}{۶})+(۲\times\frac{۱}{۲})+۳=۶$



شکل ۸ــ۳ــ شبکه کریستالی منشور شش ضلعی فشرده

۱ــ Hexagonal Closest Packed

۱ــ۴ــ۳ــ ساختار بلوری آهن : ساختار بلوری آهن در دمای پایین به‌صورت شبکه کریستالی مکعبی مرکز پر (BCC) است که به آن آهن آلفا می‌گویند. ولی همان‌طور که شکل (۹ــ۳) نشان می‌دهد با افزایش دمای آهن ساختار بلوری آن دچار تغییر می‌شود. در دمای ۷۲۱ درجه سانتیگراد ساختار آهن دچار تغییر می‌شود و به شکل مکعبی با وجوه مرکز پر (FCC) در می‌آید که به آن آهن گاما می‌گویند. با افزایش بیشتر دمای آهن مجدداً ساختار کریستالی آن متحول می‌شود و به‌حالت BCC تغییر شکل می‌دهد این تحول بلوری در دمای ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد و در نهایت با افزایش دمای آهن و رسیدن به حد نقطه ذوب (۱۵۳۲ درجه سانتیگراد) شبکه بلوری آهن درهم می‌ریزد و به حالت مذاب در می‌آید.

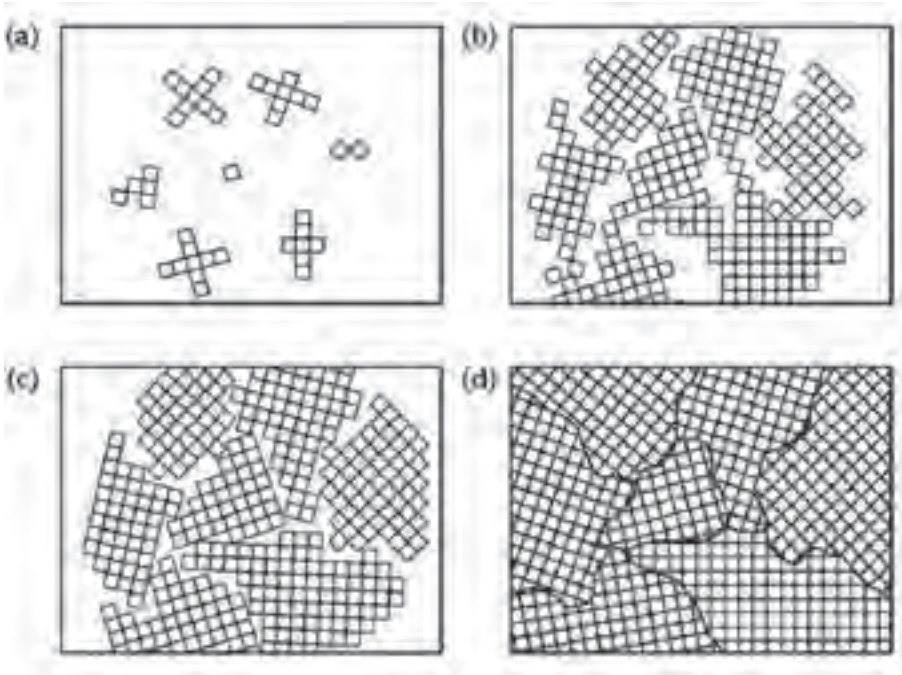


شکل ۹ــ۳ــ تغییرات ساختار بلوری آهن برحسب دما

لازم به ذکر است با تغییر شبکه بلوری آهن نحوه آرایش اتم‌های آهن در ساختار آن تغییر می‌کنند. بنابراین خواص آن دچار تغییر می‌شود. به‌طور مثال با تبدیل ساختار آهن از حالت BCC به حالت FCC، حجم آن افزایش پیدا می‌کند، قابلیت هدایت حرارتی و رسانایی الکتریکی آن کم می‌شود و خاصیت مغناطیسی آهن از بین می‌رود. هم‌چنین به‌طور معمول اکثر فلزات در محدوده دمای محیط تا نقطه ذوب خود دچار یک یا چند تغییر ساختاری می‌شوند.

ریز ساختار فلز آهن: همان‌طور که در ابتدای فصل در مورد گرافیت بحث شده شبکه کریستالی توده مواد در حالت معمولی دارای نظم با دامنه بلند که تمام توده ماده را در بر می‌گیرد نمی‌باشند بلکه در همه ساختارها تعداد زیادی از نقص‌های مختلف با شکل و اندازه‌های متفاوت وجود دارند که خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات و از جمله آهن و آلیاژهای آن‌را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌طور مثال مطابق شکل (۱۰ــ۳) از زمانی‌که آهن و آلیاژهای آن از حالت مذاب شروع به انجماد می‌نمایند کریستال‌های آهن در نقاط مختلف مذاب تشکیل و رشد می‌نمایند و در نهایت ریزساختاری مشابه قسمت (d) شکل (۱۰ــ۳) ایجاد می‌شود که باعث تنوع و گوناگونی زیادی در

اندازه و جهت قرار گرفتن دانه‌ها در توده فلز می‌گردد.



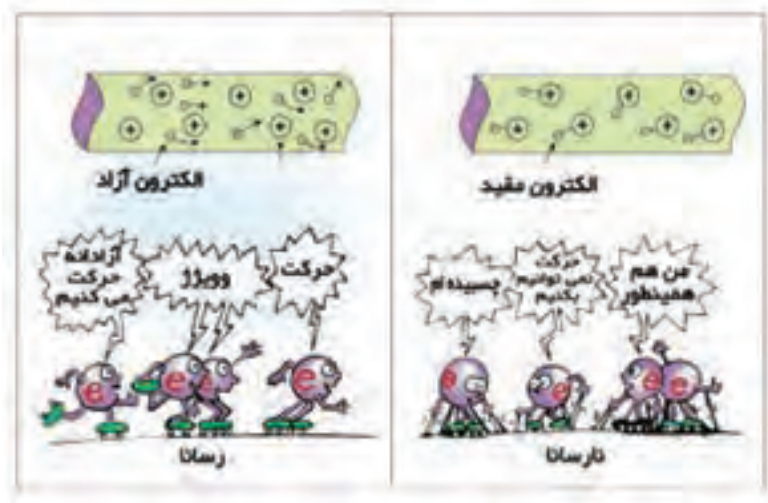
شکل ۱۰ــ۳ــ نمایش شماتیک از تشکیل و رشد شبکه بلوری آهن و آلیاژهای آن
a) شروع انجماد و تشکیل بلورها، b و c) رشد بلورها در جهات مختلف، d) تشکیل دانه‌های فلز با اندازه‌ها و جهت‌گیری‌های مختلف

۵ــ۳ــ خواص فلزات

به‌ندرت ماده‌ای پیدا می‌شود که مجموعه ایده‌آلی از خواص مورد نظر را توأم با هم داشته باشد. به طور مثال کمتر ماده‌ای را می‌توان یافت که هم استحکام بالا و هم انعطاف‌پذیری خوبی داشته باشد. به طور معمول مواد مستحکم، انعطاف‌پذیری کمی دارند و برعکس. بنابراین شناخت خواص مواد و تغییر آنها در شرایط مختلف کاری، نکته مهمی‌است که می‌بایست به آن توجه شود. از این‌رو آشنایی با خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی مواد نقش مهمی در شناسایی و انتخاب مواد به خصوص فلزات و آلیاژها که بیشترین کاربرد را در ساخت قطعات و انواع سازه‌های صنعتی دارند ایفا می‌کند.

۱ــ ۵ــ۳ــ خواص فیزیکی : منظور از خواص فیزیکی خواصی هستند که باعث تغییر در ساختمان شیمیایی ماده یا فلز نمی‌شوند مثل : قابلیت هدایت جریان الکتریسیته و حرارت، جرم مخصوص، نقطه ذوب و امثال آنها که در این بخش به معرفی مختصر آنها می‌پردازیم.

هدایت الکتریسیته : این خاصیت عبارت است از قدرت هدایت واحد طول جسم بر واحد سطح مقطع آن که نشان‌دهنده توانمندی ماده در انتقال بار الکتریکی از یک محل به محل دیگر می‌باشد. مواد رسانا مثل فلزات در آخرین مدار الکترونی خود به‌طور معمول یک یا دو الکترون دارند که قادراند آزادانه از مدار خود خارج شده و در سرتاسر جسم رسانا حرکت کنند (شکل ۱۱ــ۳). فلزاتی مثل نقره، مس و آلومینیوم بیشترین هدایت الکتریسیته را دارند. اما در مواد نارسانا مثل پلاستیک و نایلون به دلیل عدم وجود الکترون‌هایی که بتوانند آزادانه در سراسر جسم حرکت داشته باشند، قادر به هدایت جریان الکتریسیته نیستند (شکل ۱۱ــ۳).

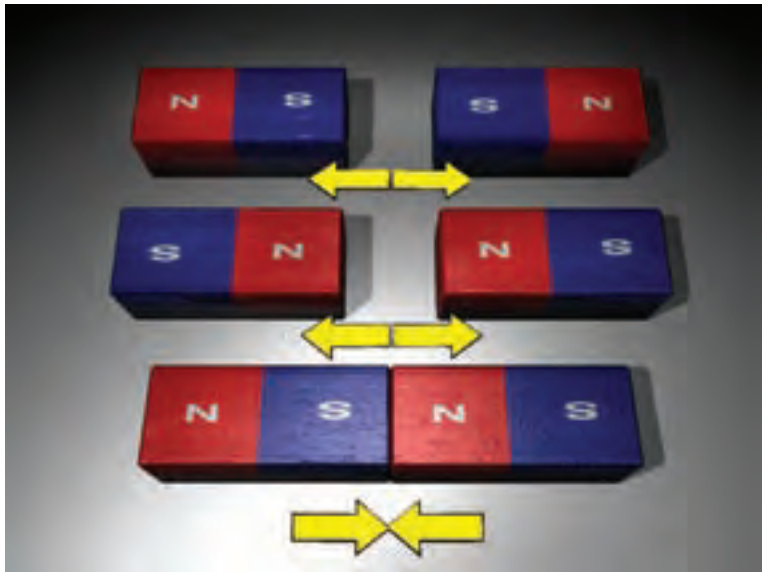


شکل ۱۱ــ۳ــ الکترون‌های آزاد مسئولیت هدایت جریان الکتریسیته را برعهده دارند.

مغناطیسی: همه شما با آهن‌ربا آشنا هستید. فلزاتی را که جذب آهنربا می‌شوند فرومغناطیس می‌نامند. این خاصیت مربوط به چگونگی حرکت الکترون‌ها و جهت‌گیری آنها در میدان مغناطیسی ناشی می‌شود و فقط در بعضی فلزات دیده می‌شود. در حالیکه اغلب آلیاژهای آهن (به جز بعضی فولادهای زنگ نزن) و آلیاژهای نیکل و کبالت دارای خاصیت مغناطیسی هستند. ولی غیرفلزات و بسیاری از فلزات و آلیاژهای آنها دارای چنین خاصیتی نیستند. لذا جذب میدان مغناطیسی نمی‌شوند.

این خاصیت در توسعه بسیاری از صنایع از جمله صنعت سخت‌افزارهای رایانه‌ای نقش بسیار مهمی دارد زیرا یکی از روش‌های ساخت حافظه‌های رایانه‌ای برای ذخیره اطلاعات، استفاده

از خاصیت مغناطیسی مواد است که در دیسکت و حافظه‌های قابل حمل از این خاصیت استفاده می‌شود.



شکل ۱۲ــ۳ــ چگونگی تأثیر دو آهن‌ربا بر یکدیگر

هدایت حرارتی: این خاصیت مشابه هدایت الکتریسیته به‌صورت قدرت هدایت حرارت واحد طول جسم بر واحد مساحت سطح مقطع آن تعریف می‌شود و به‌طور معمول فلزاتی که بیشترین قابلیت هدایت الکتریسیته را دارند از نظر هدایت حرارتی نیز بهترین هستند.

انبساط حرارتی: اتم‌های یک ماده به‌خصوص فلزات و آلیاژها با دریافت انرژی حرارتی شروع به ارتعاش و لرزش می‌کنند و فاصله بین اتم‌ها و در نتیجه ابعاد شبکه کریستالی ماده افزایش می‌یابد. هرچه پیوند بین اتم‌ها در شبکه فلز قوی‌تر باشد (فلزات با دمای ذوب بالا)، میزان انبساط حرارتی شبکه فلز کمتر است چون اتم‌ها در مقابل حرکت از خود مقاومت نشان می‌دهند. ضریب انبساط حرارتی که برحسب واحد طول یا واحد حجم ماده تعریف می‌شود معیاری برای نشان دادن تغییرات ناشی از انبساط حرارتی در مواد می‌باشد. در جدول (۱ــ۳) برای تعدادی از مواد صنعتی شامل فلزات و غیرفلزات ضریب انبساط حرارتی خطی و حجمی جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۱ــ۳ــ ضریب انبساط حرارتی مواد مختلف

ماده	ضریب انبساط حرارتی خطی α	ضریب انبساط حرارتی حجمی $\beta(\approx 3\alpha)$
سرب	۲۹	۸۷
آلومینیوم	۲۳	۶۹
برنج	۱۹	۵۷
نقره	۱۸	۵۴
فولاد زنگ نزن	۱۷/۳	۵۱/۹
پلاتین	۹	۲۷
شیشه	۸/۵	۲۵/۵
تنگستن	۴/۵	۱۳/۵

جرم مخصوص: جرم واحد حجم از هر ماده را جرم مخصوص آن ماده می‌نامند. جرم مخصوص به نوع اتم‌های تشکیل‌دهنده ماده، اندازه و تراکم شبکه کریستالی بستگی دارد.

نقطه ذوب: درجه حرارتی که ماده از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌شود نقطه ذوب ماده می‌گویند فلزات در حالت خالص نقطه ذوب معینی دارند ولی در صورت اضافه کردن عناصر آلیاژی یا آلیاژ شدن نقطه ذوب آنها تغییر می‌کند.

بیشتر بدانیم

شوک حرارتی

ایجاد ترک در ماده به‌دلیل تنش حرارتی ناشی از تغییرات دمایی شدید را شوک حرارتی می‌گویند. تغییر دما سبب ایجاد انبساط و انقباض در ساختار اتمی مواد می‌شود. چنانچه تغییر دمایی جسم شدید باشد و یا مقدار انبساط یا انقباض زیاد باشد سبب ایجاد ترک در ماده می‌گردد.

مواد مختلف دارای ضریب انبساط حرارتی و قابلیت هدایت حرارتی متفاوت می‌باشند. از طرفی استحکام یا تنش لازم برای شکست مواد نیز با هم فرق می‌کند. بنابراین انبساط و انقباض داخلی ماده در اثر تغییر ناگهانی دما سبب ایجاد ترک‌های

ریز شده و رشد ترک‌ها موجب شکست می‌گردد. قطعات سرامیکی و شیشه‌ای به دلیل رسانایی حرارتی پایین، چقرمگی کم و ضریب انبساط حرارتی بالا مستعد این نوع شکست هستند. در اصطلاح گفته می‌شود این مواد در برابر شوک حرارتی حساس می‌باشند.

۲ــ ۵ــ۳ــ خواص مکانیکی : رفتار مواد در برابر نیروهای مکانیکی وارد شده را خواص مکانیکی مواد می‌گویند. برخی از این خواص عبارتند از : سختی، استحکام، چقرمگی، خستگی، خزش و ... که نشان‌دهنده رفتار مواد در برابر نیروهای خارجی وارده هستند. بنابراین در انتخاب مواد برای طراحی و ساخت سازه‌های صنعتی بیش از هر چیز خواص مکانیکی آنها مورد ارزیابی و توجه قرار می‌گیرد.

به مثال‌های زیر توجه کنید.

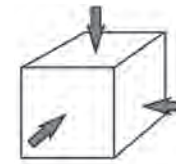
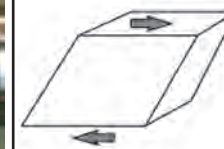
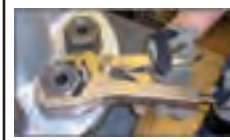
از آنجا که چکش برای ضربه زدن به اجسام ساخته می‌شود، در نتیجه ماده انتخاب شده باید در مقابل نیروهای ضربه ای دارای مقاومت زیاد باشد. جک اتومبیل که برای بلند کردن اتومبیل استفاده می شود باید دارای مقاومت فشاری زیادی باشد و پیچ گوشتی باید در مقابل نیروهای پیچشی مقاومت کافی داشته باشد حال چنانچه نیروی اعمالی از حد معین تجاوز کند، باعث تغییر شکل و شکست جسم می شود. بنابراین شناخت رفتار مواد در مقابل نیروهای مکانیکی در حقیقت همان شناخت خواص مکانیکی ماده می‌باشد که از طریق آزمایش‌های مخصوص در آزمایشگاه‌ها بدست می آیند. جدول (۲ــ۳) انواع مختلف نیروهای مکانیکی، خواص مکانیکی متناظر با هر نیرو و تأثیر نهایی آن را روی سازه صنعتی نشان می‌دهد.

اجزای یک سازه به‌طور معمول تحت تأثیر ترکیبی از چند نیرو یا تنش قرار می‌گیرند.

جدول ۲ــ۳ــ معرفی خواص مکانیکی

ردیف	نمایش نیرو	شکل سازه صنعتی و اردکننده نیرو	خاصیت مکانیکی	نمونه قطعات تحت بار	عکس‌العمل ماده زمانی‌که نیرو قابل تحمل نباشد
۱			**استحکام کششی** : مقاومت ماده در برابر نیروی کششی	سیم بکسل	پاره شدن

ادامه جدول ۲ــ۳

ردیف	نمایش نیرو	شکل سازه صنعتی و اردکننده نیرو	خاصیت مکانیکی	نمونه قطعات تحت بار	عکس‌العمل ماده زمانی‌که نیرو قابل تحمل نباشد
۲			**استحکام فشاری :** مقاومت ماده در برابر نیروی فشاری	ماده زیردستگاه پرس	شکستن یا له شدن
۳			**استحکام برشی :** مقاومت ماده در برابر نیروی برشی	ورق در زیر تیغه قیچی یا گیوتین	بریدن
۴			**مقاومت پیچشی :** مقاومت ماده در برابر نیروی پیچشی	پیچ هنگام بسته یا باز شدن	شکستن
۵			**مقاومت خمشی :** مقاومت ماده در برابر نیروی خمشی	تیرآهن سقف ساختمان	خم شدن
۶	ضربه‌ای		**چقرمگی :** مقاومت ماده در برابر ضربه	چکش، سندان	شکستن

ادامه جدول ۲ــ۳

ردیف	نمایش نیرو	شکل سازه صنعتی و اردکننده نیرو	خاصیت مکانیکی	نمونه قطعات تحت بار	عکس‌العمل ماده زمانی‌که نیرو قابل تحمل نباشد
۷	سیکلی ــ متناوب		**استحکام خستگی :** مقاومت ماده در برابر نیروی متناوب	بدنه پل‌ها و بال هواپیما	شکستن
۸	سایشی		**مقاومت سایشی :** مقدار جرم کاهش یافته در یک زمان معین در اثر سایش	تیغه ادوات کشاورزی	سایش
۹	کششی در دمای بالا		**مقاومت خزشی :** مقاومت ماده در برابر نیروهای وارده در دمای بالا و زمان طولانی	مخازن و رآکتورهایی تحت فشار که در دمای بالا کار می‌کند	خزش
۱۰	سختی		**سختی :** مقاومت جسم در مقابل نفوذ جسم خارجی است	سوزن، خط‌کش، یا دستگاه سختی سنج	سوراخ شدن یا خراش برداشتن

۳ــ۵ــ۳ــ خواص تکنولوژیکی :

● **قابلیت چکش‌خواری** : قابلیت تغییرشکل مواد را به کمک نیروی فشاری و ضربه قابلیت چکش‌خواری می‌نامند. چکش‌خواری که شکل دیگری از قابلیت تغییر شکل پلاستیک است به قابلیت تغییر شکل دائم یک فلز تحت نیروی ضربه و فشاری بدون آنکه گسیخته شود، گفته می‌شود. به‌خاطر همین خاصیت است که می‌توان فلزات را به صورت ورق‌های نازک چکش کاری و نورد کرد. طلا، نقره، قلع و سرب از جمله فلزاتی هستند که قابلیت چکش خواری بالایی از خود نشان می‌دهند. طلا قابلیت چکش‌خواری استثنایی دارد و می‌تواند به‌صورت ورق‌های نازکی که برای عبور نور کافی است نورد شود. ولی برخلاف مواد ذکر شده، چدن قابلیت چکش‌خواری خوبی ندارد. شکل (۱۳ــ۳) ظروف مسی ساخته شده از فلز مس را به روش چکش‌کاری نشان می‌دهد.

شکل ۱۳ــ۳ــ ظروف مسی ساخته شده به‌وسیله چکش‌کاری

● **قابلیت ریخته‌گری** :سهولت تولید قطعات صنعتی از مذاب ماده مورد نظر قابلیت ریخته‌گری نامیده می‌شود. چدن، آلومینیوم و مس به‌راحتی ریخته‌گری می‌شوند (شکل ۱۴ــ۳).

● **قابلیت جوشکاری** :موادی قابلیت جوشکاری دارند که بتوان آنها را به کمک حرارت و یا حرارت توأم با فشار در حالت مذاب یا جامد به یکدیگر متصل کرد. اکثر فولادها دارای قابلیت جوشکاری خوبی هستند.

● **قابلیت براده برداری یا ماشین‌کاری** : جسمی دارای قابلیت براده‌برداری خوبی است که

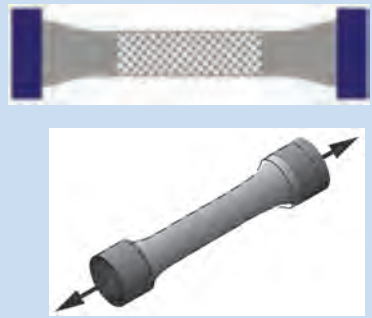
بتوان آن را با سرعت زیاد و نیروی کم براده‌برداری کرد و سطح آن نیز پس از براده‌برداری کاملاً صاف و پرداخت باشد. شکل (۱۵ــ۳) فرایند ماشین‌کاری یک قطعه صنعتی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴ــ۳ــ ذوب‌ریزی درون قالب ریخته‌گری

شکل ۱۵ــ۳ــ عملیات ماشین‌کاری قطعه فولادی

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

استحکام کششی : چنانچه مطابق شکل (۱۶ــ۳) یک نمونه با ابعاد و اندازه استاندارد مطابق تصویر تهیه و به فک دستگاه آزمایش کشش ببندیم (شکل ۱۷ــ۳) و به آن نیروی کششی محوری با سرعت ثابت و آرام اعمال کنیم، می‌توان اطلاعات مفیدی در خصوص رفتار الاستیک و پلاستیک ماده و بعضی از خواص مکانیکی مهم مواد نظیر استحکام کششی، شکست و تسلیم، انعطاف‌پذیری و مدول الاستیک که از نظر کاربردهای صنعتی بسیار حائز اهمیت می‌باشند به‌دست آورد.

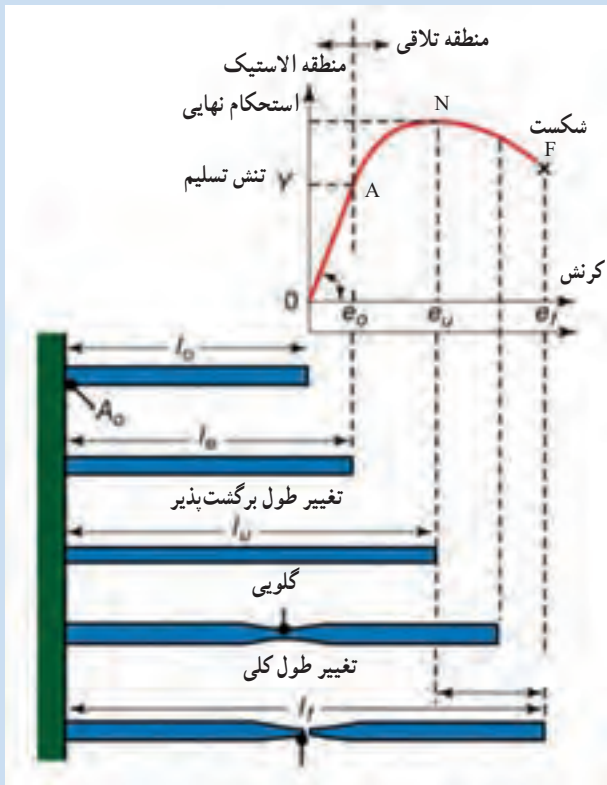


شکل ۱۶ــ۳ــ نمونه تست کشش طبق استاندارد ASTM A۳۷۰

شکل ۱۷ــ۳ــ دستگاه کشش

لازم به یادآوری است نمونه آزمایشی علاوه بر ابعاد و اندازه استاندارد بایستی ازنظر شرایط سطحی، صاف و بدون‌زدگی یا شیار باشد. به‌عبارت دیگر لازم است نیرو در یک راستا اعمال شده و به‌صورت یکنواخت در سطح مقطع نمونه توزیع شود یعنی محل‌های مساعد برای تمرکز تنش مانند گوشه‌های تیز نداشته باشیم.

چنانچه در طول آزمایش مقدار نیروی اعمال شده را برحسب تغییرات طول نمونه اندازه‌گیری و رسم نماییم نموداری مشابه شکل (۱۸ــ۳) به‌دست می‌آید که دارای چند منطقه ویژه می‌باشد. به این نمودارها، نمودارهای تنش ــ کرنش (تغییر طول نسبی) می‌گویند.



شکل ۱۸ــ۳ــ تغییر شکل ماده در نقاط مختلف نمودار تنش ــ کرنش

در محدوده OA با افزایش تنش تغییر طول نسبی نمونه یا کرنش آن به‌صورت خطی زیاد می‌شود و چنانچه تنش حذف شود نمونه به حالت اول برمی‌گردد که این منطقه الاستیک نامیده می‌شود. به علاوه شیب ناحیه خطی نمودار تنش ــ کرنش (OA) را مدول الاستیک می نامند.

در نقطه A تغییر شکل دائمی یا پلاستیک شروع می‌شود و رابطه بین تنش و تغییر طول نسبی از حالت خطی خارج می‌شود. بدین ترتیب نقطه A که شروع تغییر شکل

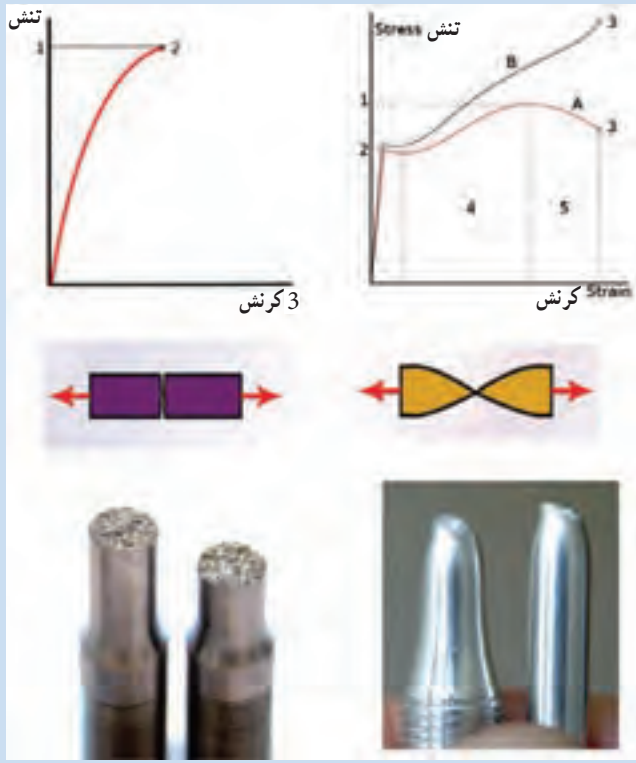
دائمی‌است نشان‌دهنده تنش تسلیم ماده می‌باشد.

در ناحیه AN تغییر شکل دائمی‌نمونه تحت کشش اتفاق می‌افتد نقطه N نشان‌دهنده بیشترین مقدار تنش یا نیرویی است که نمونه می‌تواند تحمل کند و استحکام نهایی نامیده می‌شود.

از نقطه N به بعد در قسمتی از نمونه سطح مقطع شروع به باریک شدن می‌کند. تا اینکه در نقطه F نمونه می‌شکند. تنش معادل نقطه F را تنش شکست می‌گویند.

لازم به ذکر است شکست در مواد به دو صورت ترد و نرم رخ می‌دهد.

در شکست ترد، نمونه قبل از شکست تغییر شکل دائمی ندارد و نمودار تنش ــ کرنش و نمونه شکسته شده آن مانند تصویر سمت چپ شکل (۱۹ــ۳) می‌باشد در حالیکــه در شکست نرم تغییر شکل پلاستیک قبل از شکست وجود دارد و نمودار تنش ــ کرنش و نمونه شکسته شده آن مانند سمت راست شکل (۱۹ــ۳) است.



شکل ۱۹ــ۳ــ تفاوت شکست ترد و نرم

لازم به ذکر است مقادیر مدول الاستیک، استحکام تسلیم و استحکام کششی با افزایش دما کاهش می‌یابد در صورتیکه انعطاف‌پذیری معمولاً با افزایش دما زیاد می‌شود.

سختی

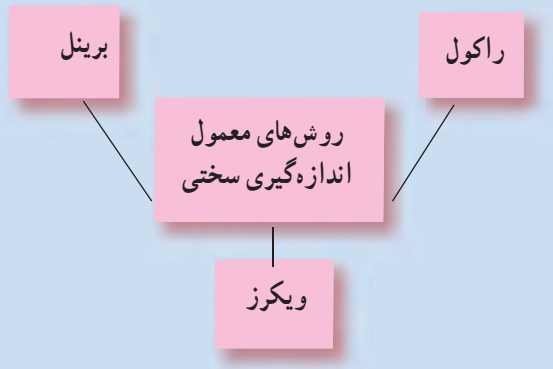
سختی، میزان مقاومت جسم در مقابل فرو رفتن جسم خارجی می‌باشد. سختی فلزات را توسط دستگاه سختی‌سنج که اساس آن فرو بردن جسمی‌سخت در جسم موردنظر است، اندازه‌گیری می‌کنند. شکل (۲۰ــ۳) نمونه‌هایی از دستگاه‌های اندازه‌گیری سختی رومیزی و قابل حمل را نشان می‌دهد.

دستگاه سختی سنج رومیزی　　دستگاه سختی سنج قابل حمل

شکل ۲۰ــ۳ــ دو نوع دستگاه سختی سنج

آزمایش سختی روشی ارزان، ساده و سریع می‌باشد و حتی در بعضی موارد دستگاه سختی سنج قابل حمل است، یکی از مزایای مهم تست سختی، غیر مخرب بودن آن می‌باشد به این معنی که نیاز به نمونه‌برداری و صدمه به جسم نیست. نمودار (۱ــ۳)

سه روش متداول اندازه‌گیری سختی را نشان می‌دهد.



نمودار ۱ــ۳ــ روش‌های متداول سختی سنج

تفاوت بین انواع سختی‌سنج، در نوع جسم اثرگذار[۱] (فرو رونده) و نیروی اعمالی می‌باشد. به‌عنوان مثال در روش راکول از یک گوی کروی از جنس فولاد سخت‌کاری شده و یا الماس مخروطی شکل به‌عنوان فرورونده استفاده می‌کنند در حالی که در روش ویکرز از یک الماس هرمی شکل به‌عنوان فرورونده استفاده می‌شود و در روش برینل نیز یک گوی فولادی مخصوص کروی شکل که با ذرات کاربید تنگستن سخت شده است بکار گرفته می‌شود. شکل (۲۱ــ۳) تصویر جسم فرو رفته در اندازه‌گیری سختی فلزات را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱ــ۳ــ نمونه‌ای ابزار فرورونده جهت اندازه‌گیری سختی

خستگی

به شکست مواد در اثر وارد شدن نیروهای سیکلی خستگی می‌گویند. در اینجا مقدار نیروهای اعمالی کمتر از استحکام نهایی ماده می‌باشد. سازه‌هایی مثل : محور توربین، میل گاردان‌ها، سوپاپ‌های ماشین و نظایر آنها در شرایط کاری تحت تنش‌های متناوب قرار می‌گیرند. شکل (۲۲ــ۳) سطح مقطع قطعه شکسته شده در اثر خستگی و شکل (۲۳ــ۳) نمایش ارزیابی مقاومت نمونه فلزی در مقابل شکست خستگی را نشان می‌دهد.

۱ــ indenter

شکل ۲۲ــ۳ــ شکست یک دسته میل لنگ آلومینیومی در اثر خستگی

شکل ۲۳ــ۳ــ آزمایش اندازه‌گیری مقاومت نمونه در برابر شکست خستگی

در حالت کلی تنش تسلیم و تنش شکست معیار طراحی قرار می‌گیرد ولی در شرایط اعمال نیروهای سیکلی باید استحکام خستگی یا حد خستگی ملاک عمل قرار گیرد. (طبق تعریف حداکثر تنشی که قطعه بتواند تعداد بسیار زیاد سیکل (حدوداً 10^6 دور) اعمال تنش را بدون شکست تحمل کند، استحکام خستگی یا حد خستگی می گویند.)

خزش

چنانچه نمونه‌ای در دمای بالا(یعنی $T>0/5T_m$ ، که T_m نقطه ذوب برحسب درجه کلوین می‌باشد) تحت تأثیر تنش کششی قرار گیرد (هرچند که تنش کمتر از حد تسلیم باشد) با گذشت زمان ماده دچار تغییر شکل دائمی می شود و پس از مدتی شکست

اتفاق می افتد که این پدیده را خزش می‌گویند. پدیده خزش در قطعاتی که در دماهای بالا کاربرد دارند مثل : اجزاء موتورهای احتراق، دیگ‌های بخار، لوله‌های انتقال بخار، پره‌های توربین بخار و گازی، مخازن تحت فشار، راکتورهای شیمیایی و هسته‌ای و امثال آن اتفاق می‌افتد.

بنابراین در طراحی موادی که قرار است در دماهای بالا بکار گرفته شوند لازم است فاکتور مقاومت در برابر خزش نیز درنظر گرفته شود و مهم است که سرعت تغییر شکل قطعه صنعتی تحت شرایط کاری (دما و تنش اعمالی) از حد معینی تجاوز نکند.

آزمون پایانی

۱ــ عوامل مؤثر در خواص فلزات را توضیح دهید.

۲ــ سلول واحد را تعریف نمایید.

۳ــ شبکه کریستالی فلزات متداول را نام برده و برای هریک مثال بزنید.

۴ــ خواص فیزیکی مواد را نام ببرید.

۵ــ نیروهای مکانیکی را با مثال نام ببرید.

۶ــ چهار مورد از خواص تکنولوژیکی فلزات را نام ببرید.

۷ــ هر چه انرژی پیوند بین اتم‌های ماده ..... باشد نقطه ذوب ماده ..... می‌یابد.

۸ــ عامل رسانایی الکتریکی در فلزات چیست؟

۹ــ تعداد اتم متعلق به سلول واحد BCC چند است؟

۱ــ۱ ۲ــ۲ ۴ــ۳ ۶ــ۴

۱۰ــ تعداد اتم متعلق به هر سلول واحد FCC چند است؟

۱ــ۱ ۲ــ۲ ۴ــ۳ ۶ــ۴

۱۱ــ تعداد اتم متعلق به هر سلول واحد HCP چند است؟

۱ــ۱ ۲ــ۲ ۴ــ۳ ۶ــ۴

۱۲ــ فشردگی کدام یک از شبکه‌های بلوری بیشتر است؟

الف) BCC ب) FCC ج) HCP د) FCC و HCP

فصل چهارم

روش‌های بهبود خواص فلزات

هدف های رفتاری : بایادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ دلایل بهبود بخشیدن خواص فلزات را بیان کند.

۲ــ مهم‌ترین روش‌های بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرد.

۳ــ روش بهبود بخشیدن خواص فلزات به‌وسیله عملیات حرارتی را توضیح دهد.

۴ــ روش بهبود بخشی خواص فلزات به‌وسیله کارمکانیکی را توضیح دهد.

۵ــ روش بهبود بخشی خواص فلزات به‌وسیله آلیاژسازی را شرح دهد.

۱ــ۴ــ مقدمه

در فصل سوم دیدیم که خواص مواد، از جمله فلزات علاوه بر ترکیب شیمیایی (نوع اتم‌های تشکیل‌دهنده) به نوع پیوند بین اتم‌ها، نحوه آرایش یا قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر (ساختار شبکه کریستالی) و ریزساختار آن بستگی دارد به‌طوری‌که ممکن است با تغییر هر کدام از عوامل مذکور خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی فلز مثل : سختی، استحکام، شکل‌پذیری، هدایت الکتریسیته، ماشین‌کاری و جوشکاری تغییر نماید. بنابراین مهم و ضروری است برای رسیدن به فلزاتی با خواص برتر و کارایی بهتر با روش‌های مختلف ایجاد تغییر در خواص فلزات آشنا شویم. در این فصل به‌صورت مختصر و فشرده سه روش متداول و پرکاربرد جهت تغییر و بهبود در خواص قطعات فلزی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲ــ۴ــ عملیات حرارتی

در حالت کلی گرم کردن و سرد کردن زمان‌بندی شده فلزات و آلیاژهای آن‌ها (در حالت جامد) را به‌منظور به‌دست آوردن خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب عملیات حرارتی می‌گویند. لازم به ذکر است عملیات حرارتی برای مواد غیرفلزی مثل سرامیک‌ها نیز به‌کار می‌رود.

براساس تعریف فوق پارامترها یا فاکتورهای مهم در اجرای عملیات حرارتی عبارتند از :

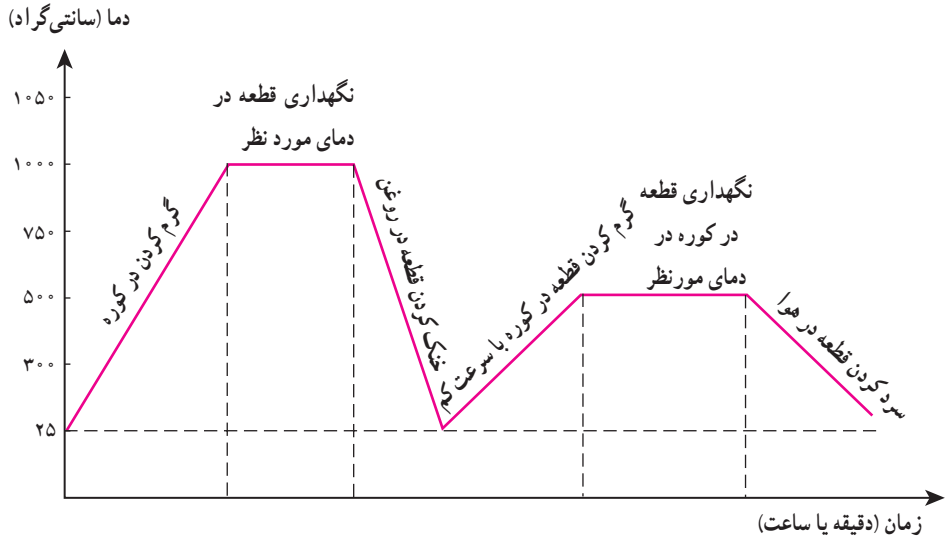
۱ــ سرعت گرم کردن قطعه

۲ــ دمای عملیات حرارتی

۳ــ زمان توقف یا نگهداری قطعه در دمای فوق

۴ــ سرعت سرد کردن

نمودار (۱ــ۴) نمودار عملیات حرارتی یک قطعه فلزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید برای رسیدن به خواص مورد نظر در قطعه ممکن است لازم باشد اجرای عملیات حرارتی در چند سیکل مختلف صورت پذیرد یعنی قطعه در چند مرحله با شرایط و برنامه زمان‌بندی متفاوتی گرم و سرد شود.



نمودار ۱ــ۴ــ نمودارعملیات حرارتی یک قطعه فلزی که از دو سیکل تشکیل شده است.

۱ــ۲ــ۴ــ اهداف عملیات حرارتی : به‌طور معمول عملیات حرارتی به‌منظور افزایش سختی و استحکام قطعات فلزی و آلیاژهای آنها صورت می‌گیرد ولی گاهی به‌دلایل دیگر مثل : کاهش سختی، افزایش قابلیت شکل‌پذیری، بهبود خواص هدایت الکتریکی و حرارتی یا بهبود خواص مغناطیسی از عملیات حرارتی استفاده می‌شود.

به‌طور کلی هدف‌های مورد نظر از انجام عملیات حرارتی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد؛

۱ــ افزایش سختی و استحکام

۲ــ نرم شدن و افزایش قابلیت شکل‌پذیری

۳ــ برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعه (حذف تغییرات ایجاد شده در ساختار قطعه فلزی حین عملیات ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشین‌کاری و غیره)

برای درک بهتر اثرات عملیات حرارتی به مثال‌های زیر توجه نمایید :

مثال ۱ــ تنش‌زدایی (حذف تنش‌های ایجاد شده و باقیمانده در ساختار سازه فلزی) : همان‌طور که در شکل (۲ــ۴) می‌بینید در طی فرآیند ساخت سازه‌های فلزی در اثر عملیاتی نظیر : نورد، خم‌کاری، جوشکاری، ماشین‌کاری و غیره بخشی از تنش‌ها با نیروهای اعمال شده به قطعه در ساختار داخلی آن باقی می‌مانند که به‌طور کلی تنش‌های باقیمانده نامیده می‌شوند.

شکل ۱ــ۴ــ فرآیند جوشکاری و شکل دادن

این تنش‌ها در صورتی‌که حذف یا کاهش پیدا نکنند باعث کاهش استحکام و طول عمر سازه فلزی می‌شوند. مقدار و نوع این تنش‌ها علاوه بر جهش قطعه به نوع و مقدار عملیاتی بستگی دارد که روی آن صورت می‌گیرد بنابراین همان‌طور که در شکل (۲ــ۴) ملاحظه می‌شود در انتهای فرآیند ساخت قطعات و سازه‌های فلزی جهت حذف یا کاهش مقدار تنش‌های باقیمانده و ایجاد ساختار یکنواخت، سازه فلزی را برای مدت معینی در درمای از پیش تعیین شده قرار می‌دهند و سپس آن‌را به آرامی سرد می‌کنند.

شکل ۲ــ۴ــ کوره عملیاتی حرارتی

مثال۲ــ افزایش سختی و استحکام : چنانچه آلیاژی از فولاد با ترکیب ۰/۴ درصد کربن، ۰/۸ درصد منگنز، ۱ درصد کروم، ۰/۲ درصد مولیبدن را اگر به مدت کافی تا ۸۴۰ درجه سانتیگراد حرارت دهیم و سپس آن را به سرعت در روغن سرد کنیم، سختی آن حدود ۵ برابر افزایش می‌یابد.

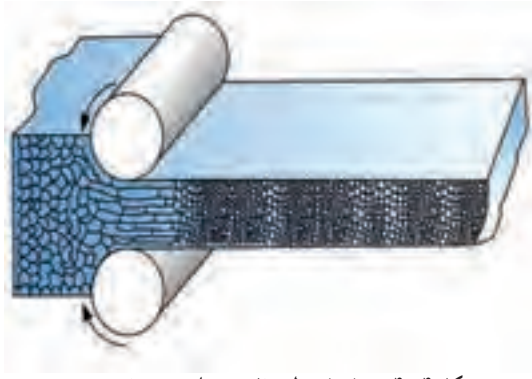
چرخ‌دنده‌ها قطعاتی هستند که در شرایط کاری به شدت تحت سایش، ضربه و خوردگی قرار می‌گیرند بنابراین مطلوب است سطح آنها به شدت سخت باشد تا کمتر دچار سایش و خوردگی شوند از طرف دیگر دوست داریم قسمت‌های داخلی آن (مغز قطعه) به‌منظور تحمل ضربات مکانیکی نرم‌تر باشد. همچنین در حین فرآیند ساخت و ماشین‌کاری هرچه قطعه نرم‌تر باشد سرعت و هزینه‌های ماشین‌کاری کاهش می‌یابد. بنابراین به‌طور معمول جنس چنین قطعاتی طوری انتخاب می‌شود که قابلیت سختی‌پذیری در اثر عملیات حرارتی را داشته باشند لذا قطعه را در شرایطی که از ساختار به نسبت نرمی برخوردار است ماشین‌کاری نموده و می‌سازند سپس با انجام عملیات حرارتی تحت شرایط معین و از پیش برنامه‌ریزی شده مطابق شکل (۳ــ۴) اقدام به سخت‌کاری سطح آن می‌نمایند لازم به ذکر است در این نوع عملیات حرارتی سرعت سرد کردن نهایی قطعه سریع صورت می‌گیرد و برای این منظور به‌طور معمول از آب، آب نمک یا روغن استفاده می‌شود.

شکل ۳ــ۴ــ عملیات حرارتی سخت کاری سطح چرخ دنده بزرگ فولادی

مثال ۳ــ افزایش سختی و استحکام از طریق اعمال عملیات حرارتی خاص فولادها نیست بلکه سختی و استحکام بعضی از آلیاژهای غیرآهنی را نیز با انجام عملیات حرارتی می‌توان بهبود بخشید؛ به عنوان مثال، آلیاژ آلومینیم ــ مس با ترکیب ۹۶ درصد آلومینیم و ۴ درصد مس چنانچه به مدت کافی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد نگه داریم و سپس به سرعت آن را در آب سرد فرو کنیم،

سختی آن حدود ۶۴ برینل می‌شود. اکنون، اگر دوباره آلیاژ را به مدت کافی در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد حرارت دهیم، سختی آن به ۱۲۰ برینل می‌رسد.

۳ــ۴ــ کار مکانیکی



شکل ۴ــ۴ــ ساختار قطعه فلزی در اثر نورد فشرده می‌شود.

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، یکی از ویژگی‌های فلزات قابلیت کار مکانیکی بر روی آنهاست؛ یعنی، فلزات را می‌توان بر اثر اعمال نیرو تغییر شکل داد و آنها را به ورق، مفتول یا شکل‌های دیگر تبدیل کرد. هنگامی‌که در دمای محیط بر روی یک فلز کار مکانیکی انجام شود مطابق آنچه که در شکل (۴ــ۴) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است، به دلیل تغییر شکل و فشرده شدن دانه‌های فلز و باقی ماندن بخشی از تنش اعمال شده در ساختار داخلی ماده استحکام و سختی فلز افزایش می‌یابد و از قابلیت شکل‌پذیری آن کاسته می‌شود؛ انجام این کار در مورد فلزات غیرآهنی هم صدق می‌کند.

در شکل (۵ــ۴) بخشی از خط نورد شرکت فولاد مبارکه اصفهان مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قبل از شروع نورد قطعات فولادی که تختال نامیده می‌شوند به‌منظور نرم شدن و افزایش قابلیت شکل‌پذیری و سرعت نورد در کوره‌های مخصوصی گرم می‌شوند و به‌صورت گداخته وارد خط نورد می‌شوند و محصول نهایی که ورقه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت می‌باشد تولید می‌شوند. به این فرآیند در اصطلاح نورد گرم گفته می‌شود، چنانچه عملیات نورد در دمای محیط صورت پذیرد مطابق آنچه شکل (۶ــ۴) دیده می‌شود در اصطلاح نورد سرد می‌گویند. در هر صورت عملیات نورد چه به‌صورت گرم انجام شود و چه به‌صورت سرد صورت پذیرد به‌دلیل اعمال نیرو و فشرده شدن ساختار کریستالی فلز یا آلیاژ و نیز باقی ماندن بخشی از تنش اعمال شده محصول از درجه سختی بیشتری برخوردار می‌شود.

همان‌طور که پیشتر نیز گفته شده میزان افزایش سختی یا استحکام در اثر کار مکانیکی علاوه بر جنس فلز یا آلیاژ به مقدار کار مکانیکی صورت گرفته و دمای انجام آن بستگی دارد. همچنین لازم

شکل ۵ــ۴

شکل ۶ــ۴

به ذکر است منظور از کار مکانیکی شیوه‌های مختلف اعمال نیرو و ایجاد تنش در ساختار داخلی فلز با آلیاژ می‌باشد.

به‌عنوان مثال در دستگاه‌هایی که برای خرد کردن سنگ‌ها (سنگ شکن‌ها) ساخته می‌شوند و یا در بیل‌های مکانیکی که برای عملیات حفاری و خاک‌برداری استفاده می‌شوند، چون در شرایط کاری به‌شدت تحت سایش و ضربه قرار دارند لذا، جنس چنین وسایلی را از ترکیب فولادی مخصوصی می‌سازند که در حین کار و وارد شدن ضربه یا نیرو قابلیت سخت شدن سطحی دارد و از این طریق کارآیی و طول عمر آنها افزایش می‌یابد.

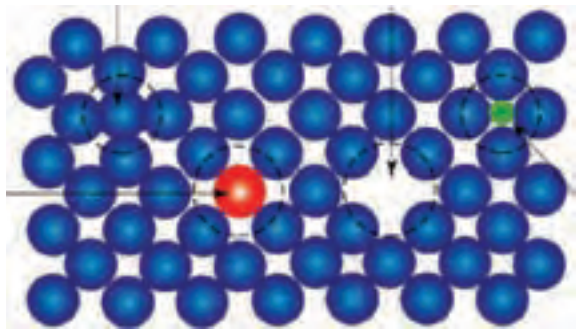
۴ــ۴ــ آلیاژسازی

به‌طور کلی فلزات در حالت خالص از درجه سختی و استحکام کمتری برخوردار می‌باشند لذا یکی از راهکارهای متداول و معمول برای افزایش خواص مکانیکی فلزات با آلیاژها اضافه کردن عناصر آلیاژی دیگر به ساختار آنها می‌باشد (شکل ۷ــ۴). به‌عنوان مثال، از طریق اضافه کردن عناصر آلیاژی مختلف به ساختار آهن امروزه هزاران ترکیب مختلف فولادی با خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی متفاوت در بازار وجود دارد.

شکل ۷ــ۴ــ اضافه کردن عناصر آلیاژ به کوره فولادسازی

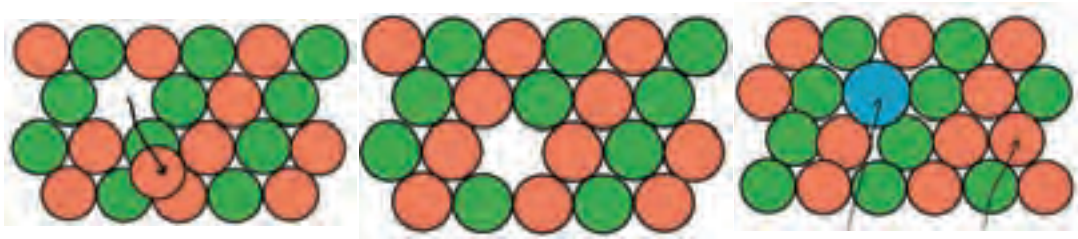
۱ــ۴ــ۴ــ مکانیزم استحکام بخشی توسط عناصر آلیاژی : همان‌طور که در فصل گذشته گفته شد فلزات در حالت جامد دارای ساختارهای بلوری می‌باشند و اکثر فلزات صنعتی پرکاربرد دارای سه نوع شبکه کریستالی (BCC یا مکعبی مرکز پر، FCC یا مکعبی با وجوه مرکز پر و HCP یا منشور شش وجهی فشرده) می‌باشند. بنابراین طی فرآیند استحکام بخشی از طریق اضافه کردن یک یا چند عنصر به شبکه اتمی فلز مورد نظر در حالت کلی، سه حالت اتفاق می‌افتد؛

۱ــ در صورتی‌که مقدار عنصر آلیاژی کم باشد (بستگی به حلالیت فلز پایه دارد) و اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی کوچک باشد. (مثل اتم‌های کربن در داخل شبکه آهن) در این صورت مطابق شکل (۸ــ۴) اتم‌های اضافه شده در فضاهای خالی بین اتم‌های فلز پایه قرار می‌گیرند (حالت بین نبش).



شکل ۸ــ۴

۲ــ چنانچه مقدار عنصر آلیاژی کم باشد ولی اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی بزرگ باشند و سایر شرایط را نیز دارا باشند. مطابق شکل (۹ــ۴) به‌جای بعضی از اتم‌های فلز پایه در شبکه کریستالی قرار می‌گیرند. نظیر اتم‌های روی در شبکه کریستالی فلز مس (حالت جانشین).



شکل ۹ــ۴

۳ــ درحالتی‌که مقدار عنصر آلیاژی بیش از حد حلالیت در فلز پایه باشد منجر به تشکیل ترکیبات فلزی جدید می‌شود که نوع این ترکیبات، مقدار آنها و چگونگی توزیع آنها در داخل فلز پایه بستگی به نوع عناصر آلیاژی و واکنش‌پذیری آنها با اتم‌های فلز پایه دارد (ایجاد ترکیبات فلزی جدید).

بدین ترتیب در هر سه حالت به‌دلیل حضور و قرار گرفتن عناصر دیگر و یا ترکیبات جدید در داخل شبکه اتمی‌فلز پایه آرایش اتمی‌فلز پایه و ساختار آن دچار تغییر می‌شود و در نتیجه حرکت اتم‌های فلز پایه در اثر اعمال نیروی خارجی مشکل‌تر می‌گردد. به‌عبارت دیگر اتم‌های اضافه شده و یا ترکیبات فلزی جدید به‌صورت مانعی در سر راه حرکت اتم‌های فلز پایه عمل می‌نمایند و بدین ترتیب مقدار نیروی لازم برای جابه‌جایی اتم‌ها در شبکه فلز پایه و یا تغییر شکل آن بالا می‌رود و به اصطلاح گفته می‌شود؛ استحکام یا سختی آلیاژ افزایش یافته است.

بنابراین در حالت کلی نتیجه این مکانیزم استحکام بخشی را روی خواص فلزات به‌صورت زیر می‌توان خلاصه کرد :

۱ــ استحکام و سختی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بیشتر است.

۲ــ انعطاف‌پذیری یا شکل‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

۳ــ جوش‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

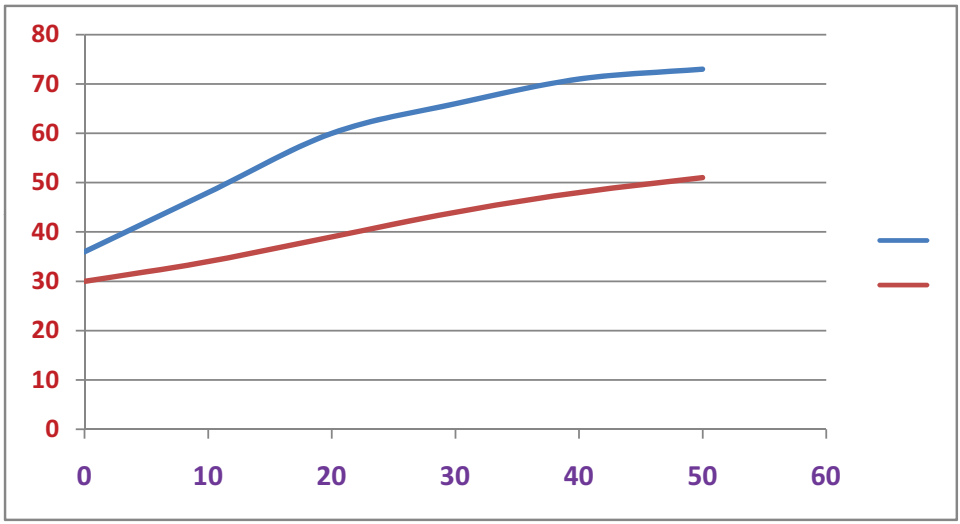
۴ــ هدایت الکتریکی و حرارتی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بسیار کمتر است.

۵ــ نقطه ذوب آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

به مثال زیر توجه کنید :

مثال ۴ــ همان‌گونه که در نمودار (۲ــ۴) مشاهده می‌شود، هرقدر مقدار نیکل در آلیاژ مس ــ نیکل افزایش یابد، سختی و استحکام آلیاژ به دست آمده افزایش پیدا می‌کند.

ملاحظه می‌شود، با افزایش حدود ۴۰ درصد نیکل به مس سختی آن از ۳۶ به ۷۳ برینل می‌رسد؛ یعنی سختی آن دو برابر و استحکام آن نیز بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همانگونه که گفته شد، آلیاژسازی تنها برای افزایش یا بهبود استحکام فلز صورت نمی‌گیرد بلکه برای بهبود دیگر ویژگی‌های آن نیز ممکن است، انجام شود.



نمودار ۲ــ۴ــ تغییرات خواص آلیاژ مس ــ نیکل بر حسب مقادیر مختلف نیکل

آزمون پایانی

۱ــ هدف از بهبود بخشیدن خواص فلزات چیست؟

۲ــ سه روش بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرید.

۳ــ منظور از عملیات حرارتی چیست؟

۴ــ موارد استفاده عملیات حرارتی در صنعت چیست؟

۵ــ کار مکانیکی و موارد استفاده آن را در بهبود بخشیدن به خواص فلزات توضیح دهید.

۶ــ آلیاژسازی به چه منظور انجام می‌گیرد و موارد استفاده آن چیست؟

فصل پنجم

فلزات آهنی

هدف رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ آلیاژهای آهنی را دسته‌بندی نماید.

۲ــ طبقه‌بندی فولادها را توضیح دهد.

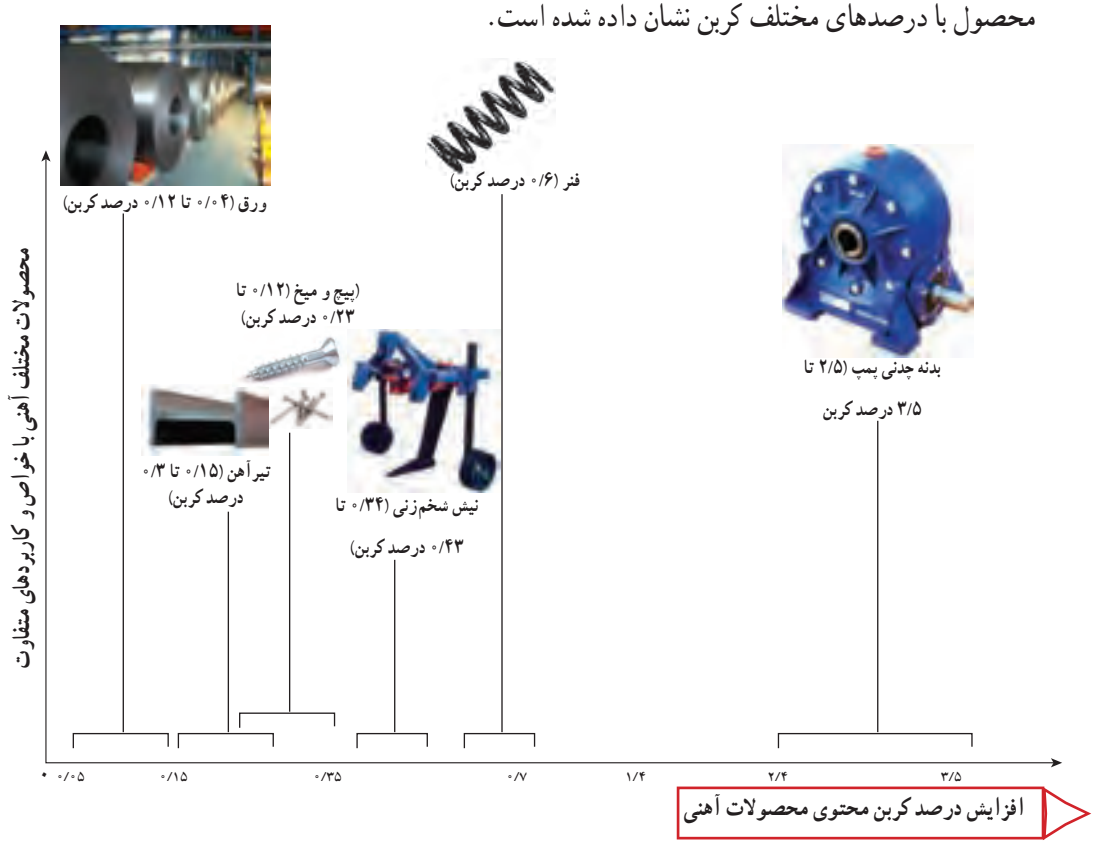
۳ــ کاربردهای فولادها را شرح دهد.

۴ــ انواع چدن و موارد کاربرد آنها را بیان کند.

۱ــ۵ــ مقدمه

پرکاربردترین ماده مورد استفاده در صنعت کدام است؟

پرکاربردترین مواد صنعتی، آلیاژهای آهن می‌باشند که به دلیل پایین بودن خواص مکانیکی مثل : سختی و استحکام، آهن خالص کاربرد چندانی ندارد[1]. بنابراین آنچه ما در اطراف خود از وسایل آهنی می‌بینیم مثل : میز، صندلی، در و پنجره، دوچرخه، موتورسیکلت، ماشین و غیره در حقیقت از فولاد (آلیاژهای آهن) ساخته شده‌اند. آلیاژهای آهن در صنعت به دو صورت فولادها و چدن‌ها (آلیاژ آهن، کربن و سیلیسیم همراه با عناصر دیگر هستند)، مورد استفاده قرار می‌گیرند که در شکل (۱ــ۵) چند محصول با درصدهای مختلف کربن نشان داده شده است.



شکل ۱ــ۵ــ نیم‌ساخته‌ها و محصولات آهنی با کاربردهای مختلف

۱ــ **آلیاژ فلزی** : محلول جامدی است که حداقل یکی از اجزاء آن فلز باشد و ترکیب نهایی خواص فلزی داشته باشد.

۲ــ۵ــ دسته بندی فلزات پایه آهنی

کربن و دیگر عناصر آلیاژی در ترکیب با آهن طیف گسترده‌ای از خواص را در فلزات آهنی ایجاد می‌کنند که می‌توان با شناخت این خواص از آنها در صنایع مختلف استفاده نمود.

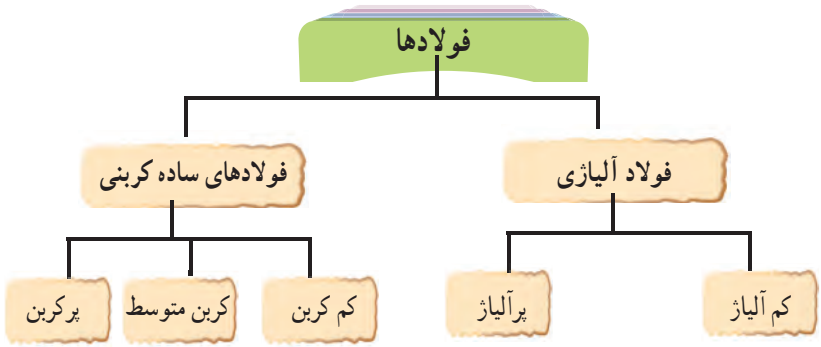
فلزات پایه آهنی بر اساس میزان کربن به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند (نمودار ۱ــ۵).

فولادها	به‌طور معمول کمتر از ۲ درصد کربن دارند
چدن‌ها	بیش از ۲ درصد تا حدود ۶ درصد کربن دارند

نمودار ۱ــ۵ــ دسته‌بندی فلزات پایه آهنی بر حسب مقدار کربن

۳ــ۵ــ فولاد

به‌طور کلی می‌توان فولادها را مطابق نمودار (۲ــ۵) تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۲ــ۵ــ تقسیم‌بندی فولادها

۱ــ۳ــ۵ــ فولادهای ساده کربنی[1]: فولادهای ساده کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق می‌شود که کربن اصلی‌ترین و مؤثرترین عنصر آلیاژی آن می‌باشد و با افزایش میزان کربن استحکام فولاد افزایش پیدا می‌کند. فولادهای ساده کربنی مطابق نمودار (۳ــ۵) به سه گروه تقسیم می‌شوند.

۱ــPlain Carbon Steel

نمودار ۳ــ۵ــ تقسیم‌بندی انواع فولادهای ساده کربنی

الف) فولاد ساده کم کربن : این نوع فولاد که برای عموم قطعات مهندسی، سازه‌ها و پل‌ها، صنایع کشتی‌سازی و بدنه واگن‌ها و ... بکار می‌روند، از خواص شکل‌پذیری، ماشین‌کاری، جوشکاری و مغناطیسی خوبی برخوردار می‌باشند (شکل ۲ــ۵).

شکل ۲ــ۵ــ کاربرد فولادهای ساده کم کربن

ب) فولادهای ساده کربن متوسط : در صنایع حمل و نقل به‌خصوص راه آهن (چرخ و محور واگن‌ها)، قطعات خودرو و ماشین آلات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فولادها علاوه بر داشتن خواص ماشین‌کاری و جوشکاری مناسب از قابلیت سختی‌پذیری بالایی برخوردار هستند (شکل ۳ــ۵).

الف) اکسل عقب و دیفرانسیل اتومبیل

ب) سازه‌های مربوط به فرآوری مواد معدنی

شکل ۳ــ۵ــ کاربرد فولادهای ساده کربن متوسط

ج) فولادهای ساده پرکربن : در مواردی که به سختی بالایی نیاز باشد از فولادهای ساده پرکربن استفاده می‌شود مانند تیغ های برش، غلتک نورد و ... که در شکل (۴ــ۵) دو نمونه از این قطعات صنعتی نشان داده شده است.

شکل ۴ــ۵ــ کاربرد فولادهای ساده پرکربن

تقسیم‌بندی فولادهای ساده کربنی: قدیمی‌ترین تقسیم‌بندی برای فولادهای ساده کربنی پرکاربرد در صنعت بر اساس استاندارد DIN ــ۱۷۱۰۰ کشور آلمان انجام شده است و در صنایع کشور ما نیز متداول می‌باشد که در جدول (۱ــ۵) مشاهده می‌کنید[۱].

جدول ۱ــ۵ــ نمونه‌ای از فولادهای ساده کربنی بر اساس استاندارد DIN

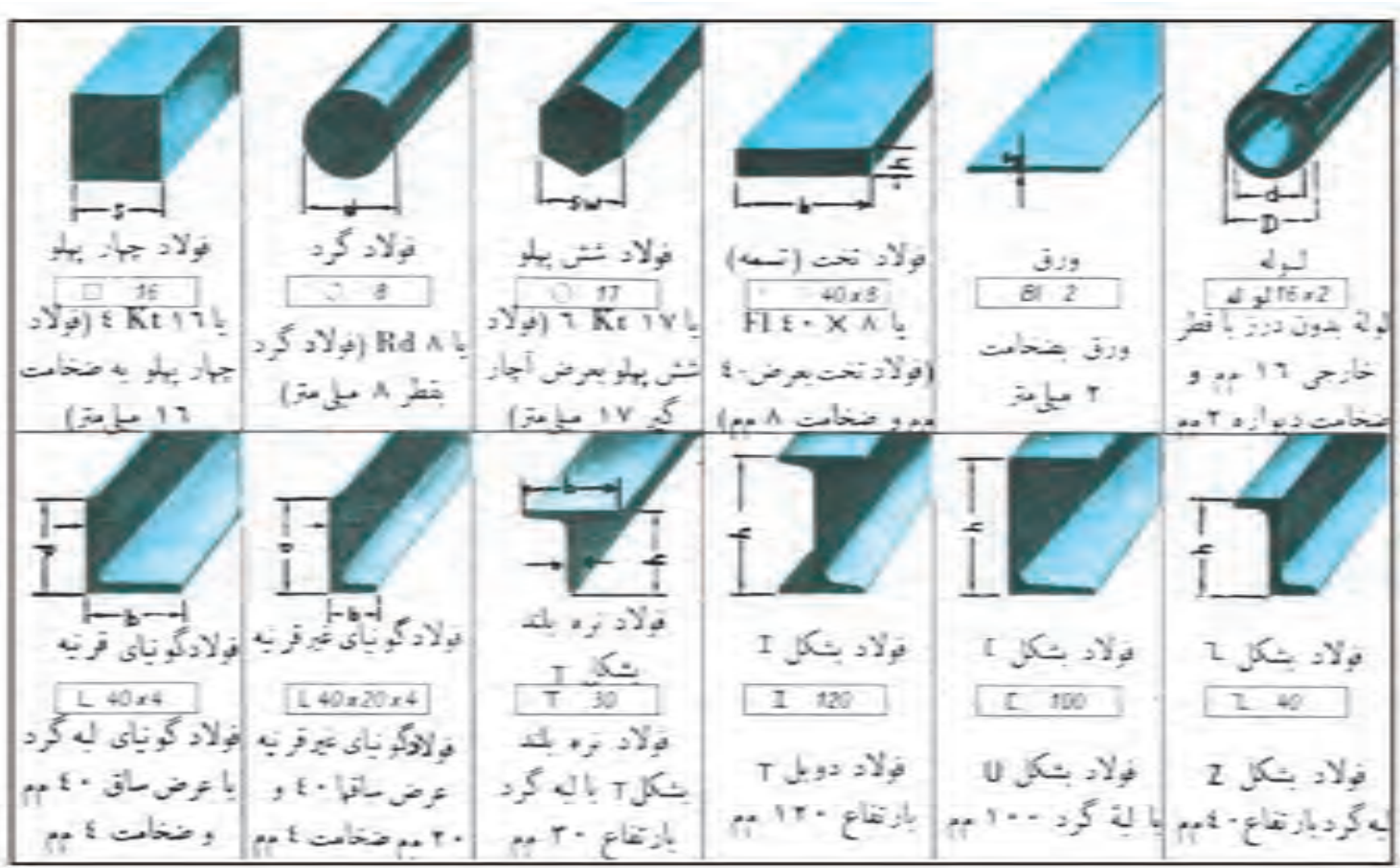
فولاد با درجه کیفیت متفاوت			علامات مشخصه کارخانه					
۱ برای خواص عادی	۲ برای‌خواص عالی	۳ برای‌خواص مخصوص	نیمه‌ساخت	آهن فرم‌دار و پرفیل	ورق ضخیم	ورق متوسط	استحکام (کیلوگرم بر میلی مترمربع)	مقدار کربن برحسب ٪
St ۳۳	ــ	ــ	St ۰۰ ــ ۱۱	St ۰۰ ــ ۱۲	St ۰۰ ــ ۲۱	St ۰۰ ــ ۲۲	۳۳ تا ۵۰	تعیین نشده است
St ۳۴	St ۳۴ ــ ۲	St ۳۴ ــ ۳	St ۳۴ ــ ۱۱	St ۳۴ ــ ۱۲	ــ	ــ	۳۴ تا ۴۲	۰/۱۷
St ۳۷	St ۳۷ ــ ۲	St ۳۷ ــ ۳	St ۳۷ ــ ۱۱	St ۳۷ ــ ۱۲	St ۳۷ ــ ۲۱	St ۳۷ ــ ۲۲	۳۷ تا ۴۵	۰/۲۰
St ۴۲	St ۴۲ ــ ۲	St ۴۲ ــ ۳	St ۴۲ ــ ۱۱	St ۴۲ ــ ۱۲	St ۴۲ ــ ۲۱	St ۴۲ تا ۲۲	۴۲ تا ۵۰	۰/۲۵
St ۵۰	St ۵۰ ــ ۲	ــ	ــ	ــ	ــ	St ۵۰ تا ۲۲	۵۰ تا ۶۰	۰/۳۰
ــ	ــ	St ۵۲ ــ ۳	ــ	ــ	ــ	ــ	۵۲ تا ۶۲	۰/۲۰
St ۶۰	St ۶۰ ــ ۲	ــ	ــ	ــ	ــ	St ۶۰ تا ۲۲	۶۰ تا ۷۲	۰/۴۰
ــ	St ۷۰ ــ ۲	ــ	ــ	ــ	ــ	St ۷۰ تا ۲۲	۷۰ تا ۸۵	۰/۵۰

همانطور که در جدول (۱ــ۵) مشاهده می‌شود با افزایش درصد کربن، استحکام و سختی فولادها افزایش می‌یابد ولی قابلیت جوشکاری و انعطاف پذیری آن‌ها کاهش می‌یابد.

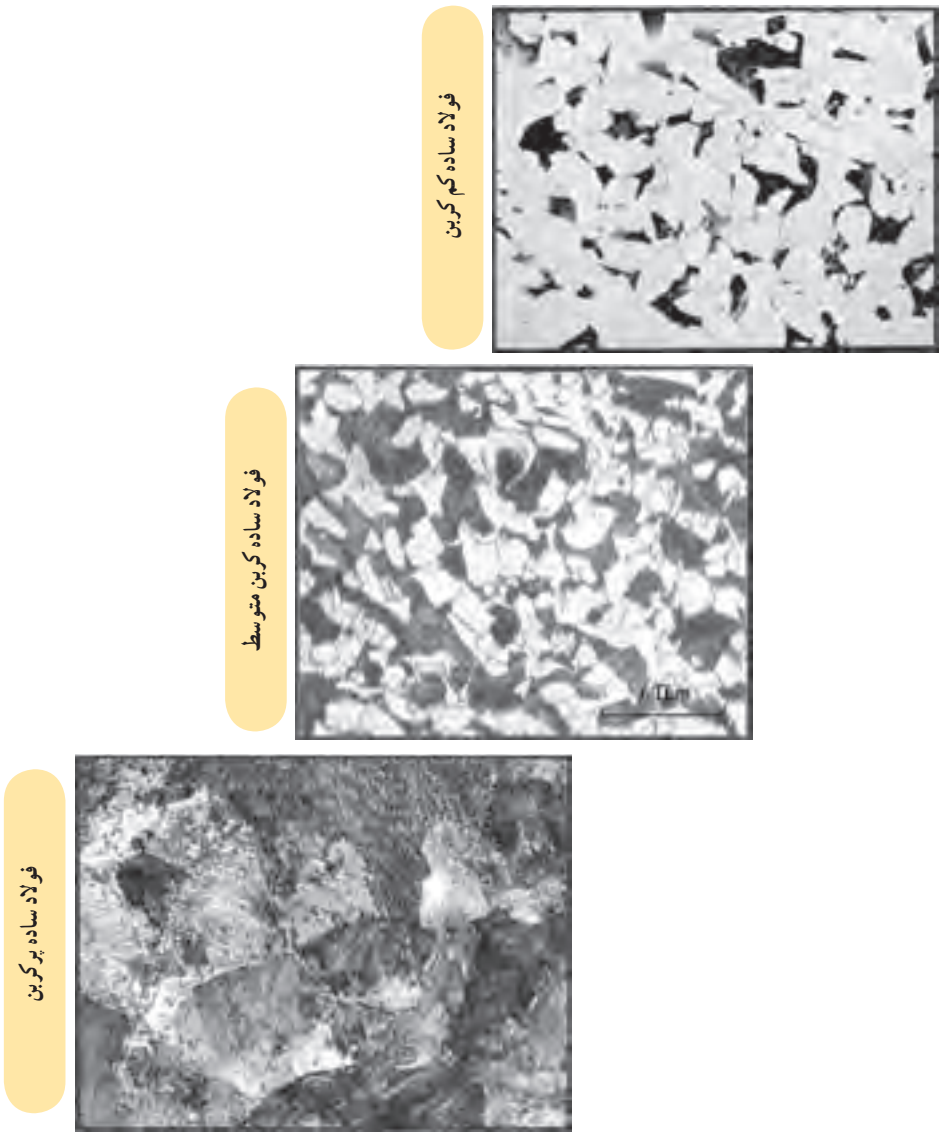
جدول (۲ــ۵) انواع نیم ساخته های مهم فلزی به همراه علائم اختصاری آن‌ها را بر اساس استاندارد DIN ــ۱۳۵۳ نشان می‌دهد.

۱ــ ویژگی برخی از فولادهای پر کاربرد در قسمت ضمیمه کتاب آمده است.

جدول ۲ــ۵ــ نیم‌ساخته فلزی و علامت اختصاری آنها بر اساس استاندارد ۱۳۵۳ــ DIN



۲ــ۳ــ۵ ــ ارتباط ساختار میکروسکوپی با خواص مکانیکی : وقتی که مذاب فولاد داخل قالب ریخته‌گری سرد می‌شود، بسته به میزان کربن موجود در فولاد ساختار نهایی فولاد متفاوت است. در شکل (۵ــ۵) تفاوت ساختار میکروسکوپی بین سه فولاد ساده کربنی (کم کربن، کربن متوسط و پرکربن) که به آهستگی در دمای محیط سرد شده‌اند از نظر شکل ساختار مشاهده می‌شود.



شکل ۵ــ۵ــ ساختارهای متفاوت فولاد ساده کربنی بر اساس میزان کربن

بیشتر بدانیم

متالوگرافی[1]

به علم و هنر آماده‌سازی نمونه‌های فلزی و بررسی ریز ساختار میکروسکوپی آنها متالوگرافی گفته می‌شود. با این‌کار اطلاعات ارزشمندی در زمینهٔ ریز ساختار کریستالی، کار مکانیکی و عملیات حرارتی احتمالی صورت گرفته بر روی فلز و تا حدودی ترکیب شیمیایی آن را می‌توان به‌دست آورد.

فرآیند متالوگرافی به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌شود؛

۱ــ آماده‌سازی نمونه (شامل برش، بافت و سنباده‌زنی)

۲ــ پولیش واچ کردن

۳ــ مطالعه نمونه زیر میکروسکوپ

این اختلاف ساختار فولاد خواص مکانیکی متفاوتی را ایجاد می‌کند که در جدول (۳ــ۵) این اختلاف در خواص مکانیکی برای سه نوع فولاد ساده کربنی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش درصد کربن استحکام تنش تسلیم فولاد کربنی افزایش پیدا می‌کند.

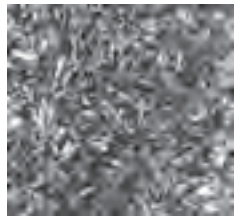
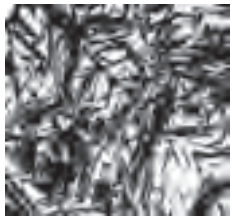
جدول ۳ــ۵ــ اختلاف در خواص مکانیکی فولاد ساده کربنی (بر حسب مقدار متفاوت کربن)

نوع فولاد / خاصیت مکانیکی	فولاد ساده کم کربن (CK۱۵)	فولاد ساده کربن متوسط (CK۴۵)	فولاد ساده پرکربن (CK۶۰)
استحکام کششی (MPa)	۵۹۰ــ۷۸۰	۶۵۰ــ۸۰۰	۷۸۰ــ۹۳۰
تنش تسلیم (MPa)	۳۵۵	۳۶۵	۴۹۰

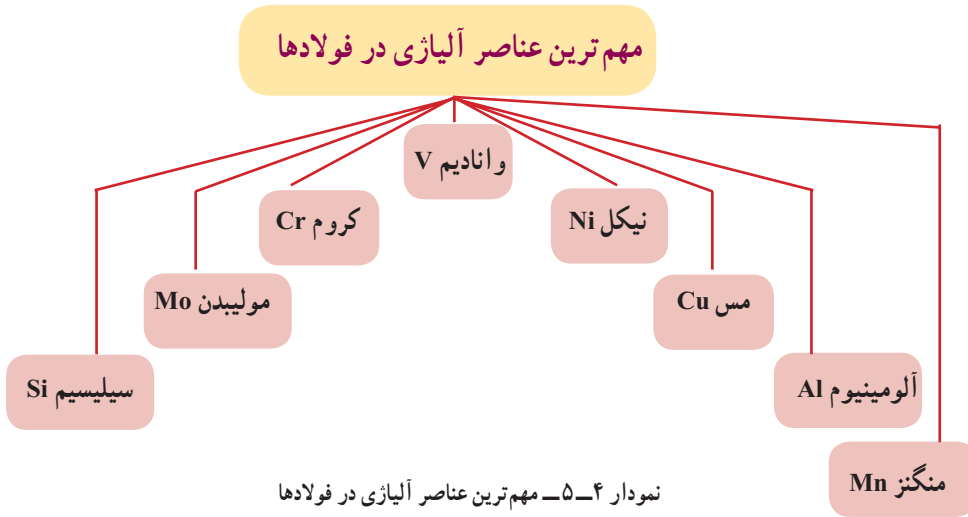
اختلاف در خواص فولاد ساده کربنی، علاوه بر مقدار کربن موجود در فولاد به‌دلیل دیگری نیز می‌تواند ایجاد شود و آن انجام عملیات حرارتی روی فولاد می‌باشد که در فصل چهارم توضیح داده شده است. همان‌طور که در جدول (۴ــ۵) مشاهده می‌کنید، چنانچه یک فولاد ساده کربنی (کربن متوسط) با سرعت متفاوت سرد شود منجر به تشکیل سه نوع ساختار با خواص مکانیکی مختلف می‌شود.

۱ــ Metalugraphy

جدول ۴ــ۵ــ تأثیر سرعت سرد کردن فولاد ساده کربنی روی ساختار و خواص مکانیکی آن

ریز ساختار فولاد / خواص مکانیکی	سرعت سرد کردن پایین (سرد کردن در کوره)	سرعت سرد کردن متوسط (سرد کردن در هوا)	سرعت سرد کردن بالا (سرد کردن در آب)
			
استحکام کششی (MPa)	۶۶۰	۶۹۰	۷۴۰
تنش تسلیم (MPa)	۳۶۷	۳۸۴	۴۰۳

۳ــ۳ــ۵ــ فولادهای آلیاژی : برای بهبود خواص فولادها که در نمودار (۵ــ۵) به دلایل اصلی آن اشاره شده است، عناصری آلیاژی به آن افزوده می‌شود که مهم‌ترین عناصر آلیاژی در نمودار(۴ــ۵)مشاهده می‌شوند.



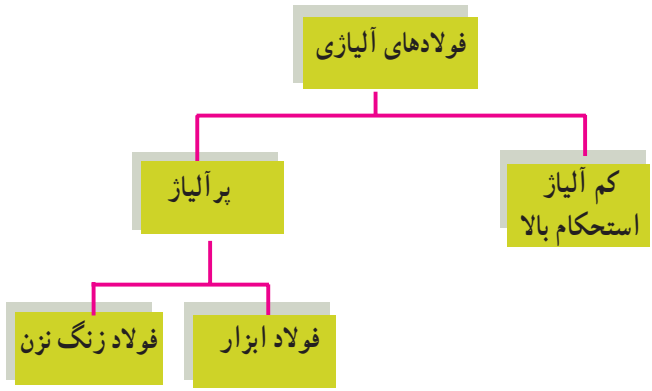
نمودار ۴ــ۵ــ مهم‌ترین عناصر آلیاژی در فولادها

شکل ۶ــ۵ــ افزودن عناصر آلیاژی به مذاب فولاد در کارخانه فولادسازی

نمودار ۵ــ۵ــ دلایل افزودن عناصر آلیاژی به فولاد

۱ــ چقرمگی یا تافنس (Toughness) : در علم متالوژی و مواد به مقاومت ماده در برابر شکست در اثر اعمال تنش گفته می‌شود و به‌صورت میزان انرژی جذب شده قبل از شکست در واحد حجم تعریف می‌شود. این کمیت را می‌توان از طریق محاسبه سطح زیر منحنی تنش ــ کرنش محاسبه کرد. بنابراین هرچه چقرمگی ماده‌ای بیشتر باشد انرژی لازم برای شکست آن بیشتر است.

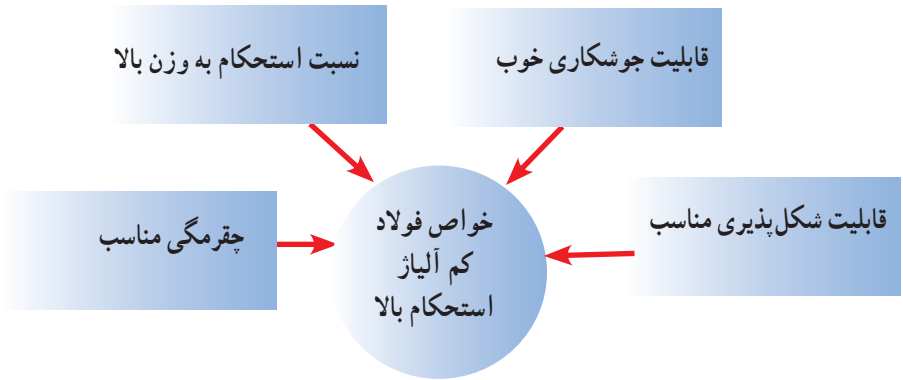
فولادهای آلیاژی را می‌توان مطابق نمودار (۶ــ۵) تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۶ــ۵ــ دسته‌بندی فولادهای آلیاژی

الف) فولاد کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA) [1]: این نوع فولاد که فولاد میکرو آلیاژی نیز نامیده می‌شود، نوعی فولاد آلیاژی است که با افزودن مقدار اندکی از عناصر آلیاژی نظیر مولیبدن، وانادیوم و تیتانیوم تهیه می‌شود (مجموع عناصر آلیاژی در این دسته از فولادها کمتر از ۵ درصد است).

فولادهای میکروآلیاژی نسبت به دیگر فولادها دارای خواص منحصر بفردی می‌باشند، که در نمودار (۷ــ۵) نمایش داده می‌شود.



نمودار ۷ــ۵ــ خواص منحصر به‌فرد فولاد کم آلیاژ استحکام بالا

۱ــ High Strength Low Alloy

مهم‌ترین ویژگی این فولادها بالا بودن نسبت استحکام به وزن و چقرمگی مناسب می‌باشد. بنابراین در صنایعی که کاهش وزن مورد توجه است، استفاده از میکرو آلیاژها مرسوم می‌باشد. به عنوان مثال در صنایع خودروسازی برای انتخاب ورق بدنه خودرو معیار اصلی دارا بودن استحکام بالا به‌همراه وزن کم می‌باشد که از ورق‌های HSLA با ضخامت کم استفاده می‌شود.

فولادهای میکرو آلیاژی بدون شک یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های متالورژیکی نیم قرن اخیر بوده است. این فولادها یک ترکیب عالی از خواص مختلف از جمله استحکام، انعطاف‌پذیری، چقرمگی، شکل پذیری و جوش پذیری را دارا می‌باشد.

ب) فولادهای ابزار[1] : فولادهای ابزار گروهی از فولادها هستند که در ساخت ابزار مانند تیغه اره، تیغه قیچی، سوهان، شکل (۷ــ۵) قلم تراش، سوزن خط کشی و قالب‌های نورد و پرس مورد استفاده قرار می‌گیرند. سختی پذیری بالا، مقاومت سایشی مناسب، پایداری ابعادی خوب (انقباض و انبساط کم) و قابلیت عملیات حرارتی از جمله خواص مهم فولاد ابزار می‌باشد.

میزان کربن این نوع فولادها از حدود ۰/۳۵ درصد تا حدود ۱/۲۵ درصد متغیر است و بسته به نوع فولاد ابزار ممکن است دارای عناصر آلیاژی خاص مثل : تنگستن، کروم، وانادیوم و مولیبدن نیز باشند.

شکل ۷ــ۵ــ کاربردهای فولاد ابزار

در جدول (۵ــ۵) نمونه‌ای از دسته‌بندی فولادهای ابزار بر اساس استاندارد AISI [2] آمده است.

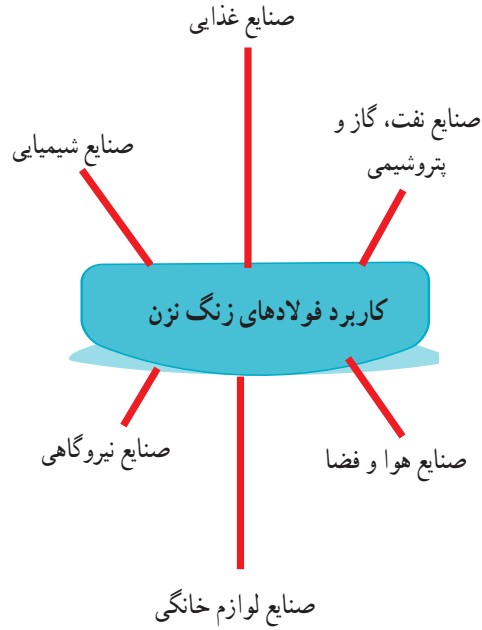
۱ــ Tools Steel

۲ــ American Iron and Steel Institute

جدول ۵ــ۵ــ دسته‌بندی فولادهای ابزار براساس استاندارد AISI

ردیف	نوع فولاد ابزار	علامت اختصاری	ویژگی‌ها و کاربردهای صنعتی
۱	فولاد ابزار آب سخت شونده	W	سختی این فولادها در سطح HRC ۶۰ و در مغز HRC ۴۵ می‌باشد (دارای ۱/۴٪ کربن و مقدار کمی کروم و وانادیوم) و در صنایع چوب، نساجی و پنبه‌زنی کاربرد دارد
۲	فولاد ابزار مقاوم به شوک	S	حاوی ۰/۵٪ کربن است و در مواقعی که تنش‌های ضربه‌ای تکراری وجود دارد به‌کار می‌رود مثل تیغه برش، قالب اکستروژن و قالب برش
۳	فولاد ابزار سردکار ● روغن سخت شونده ● هوا سخت شونده ● پر کربن – پر کروم	 O A D	دارای مقاومت به سایش و چقرمگی مناسب می‌باشد و در انواع قالب‌های پلاستیک، لوازم کشاورزی، قلاویز و مته کاربرد دارد. (درصد کربن این فولادها بین ۱/۲۵٪ــ۰/۹٪ متغیر است.)
۴	فولاد ابزار گرم کار ● پایه کروم ● پایه تنگستن ● پایه مولیبدن	H	این فولادها دارای ۰/۴٪ تا ۰/۳۵٪ کربن می‌باشند مقاوم به تغییر شکل کربن در دمای بالا و مقاومت نسبی به شوک گرمایی و مکانیکی دارند. همچنین در ساخت قالب اکستروژن، ریخته‌گری تحت فشار، فورج و نورد گرم کاربرد دارند.
۵	فولاد ابزار تند بر ● پایه تنگستن ● پایه مولیبدن	 T M	این فولادها حدود ۱/۲۵٪ تا ۰/۷۵٪ کربن دارند و دارای عناصر کاربیدزا مانند وانادیوم، تنگستن و مولیبدن می‌باشند که در ساخت انواع ابزار تراش و فرز به کار می‌روند.
۶	فولاد ابزار کم آلیاژی خاص	L	عناصر اصلی این فولادها کروم و منگنز می‌باشد. این فولادها در روغن سخت‌کاری می‌شوند و در ساخت ابزارآلات مقاوم به سایش کاربرد دارند.

ج) فولاد زنگ نزن[1] : فولادهای زنگ نزن از جمله فولادهای آلیاژی می‌باشند که مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارند. فولادهای زنگ نزن حاوی حداقل ۱۰ درصد کروم هستند که عامل اصلی مقاومت در برابر خوردگی است. همچنین عناصر دیگری مانند نیکل و مولیبدن نیز به آن افزوده می‌شود. نمونه‌هایی از کاربرد فولادهای زنگ نزن در نمودار (۸ــ۵) آورده شده است.



نمودار ۸ــ۵ــ کاربرد فولادهای زنگ نزن

۱ــ Stainless Steel

از معروف‌ترین و پرکاربردترین، فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ می‌باشد که ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آن‌ها در جدول (۶ــ۵) مشاهده می‌شود.

جدول ۶ــ۵ــ ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶

نام (AISI)	Cr (درصد)	Ni (درصد)	C (درصد)	Mn (درصد)	Si (درصد)	P (درصد)	N (درصد)	استحکام نهایی MPa	سختی (HRB)
۳۰۴	۱۸تا۲۰	۸ تا ۱۰/۵۰	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۱	۶۲۱	۸۲
۳۱۶	۱۶تا۱۸	۱۰تا۱۴	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۱	۵۷۹	۷۹

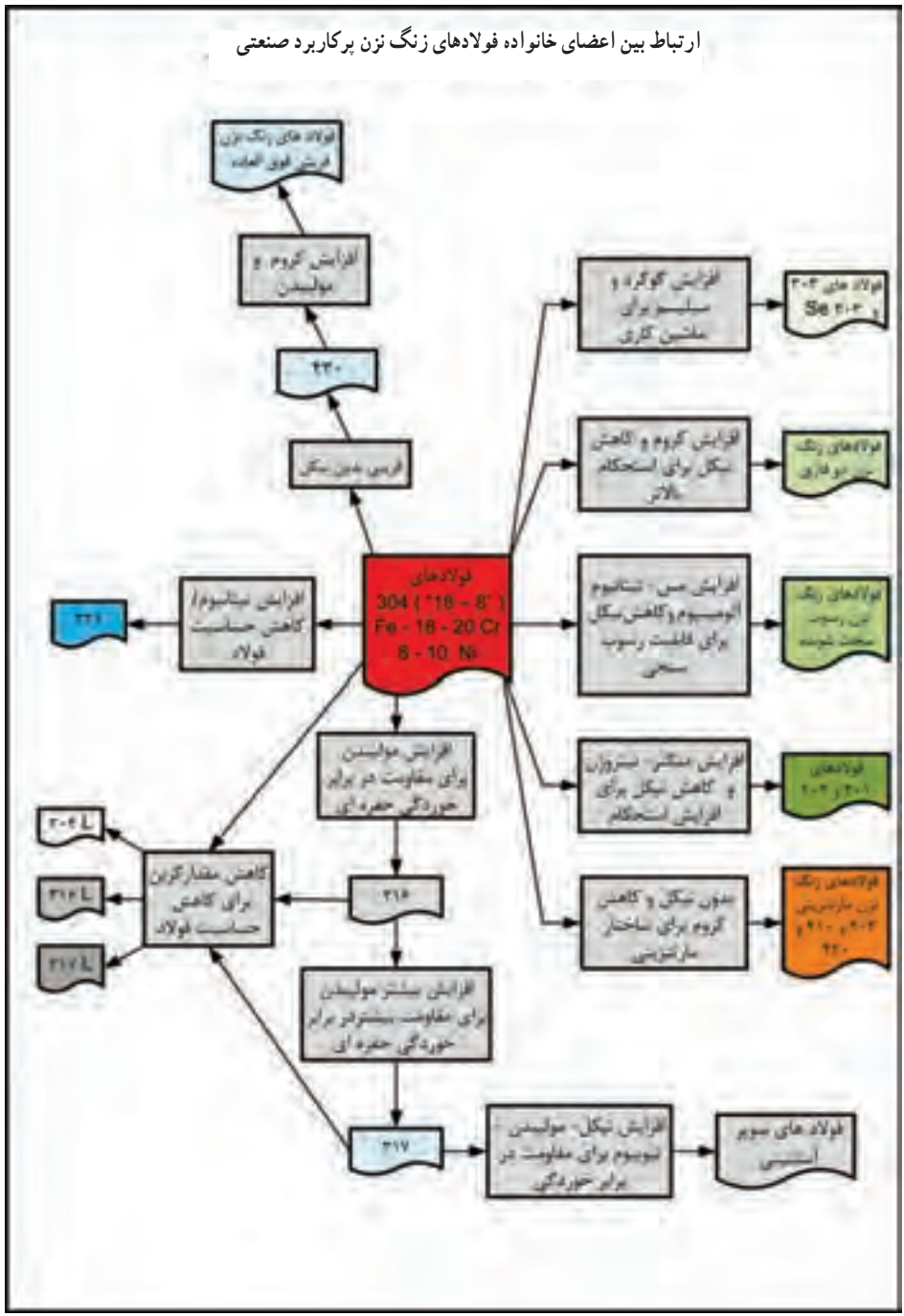
بیشتر بدانیم

ساختار و فولاد زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن از نظر ساختاری به فریتی، آستنیتی، مارتنزیتی و دوفازی تقسیم می‌شوند، که فولادهای با ساختار مارتنزیتی و فریتی خاصیت مغناطیسی دارند و به فولادهای بگیر معروف هستند، مانند : فولاد ۴۳۰.

فولادهای کروم ــ نیکل دار که نیکل آنها بیش از ۶ درصد باشد، ساختار آستنیتی دارند و جذب آهن ربا نمی‌شوند که به فولادهای نگیر معروفند مانند : فولاد زنگ نزن (۳۰۴ و ۳۱۶).

در نمودار (۹ــ۵) اعضاء مهم و پرکاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن معرفی شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌کنید فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در مرکز قرار دارد و با افزایش یا کاهش عناصر آلیاژی انواع دیگر فولادهای زنگ نزن به‌دست می‌آیند.



نمودار ۹ــ۵ــ اعضاء مهم و پرکاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن

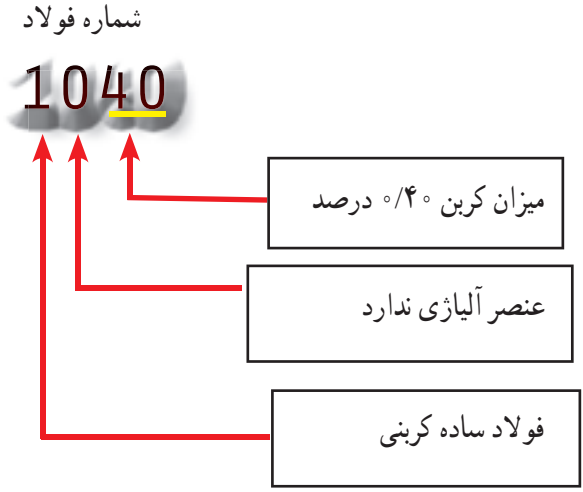
۴ــ۳ــ۵ــ نام‌گذاری فولادها : با توجه به تنوع و گستردگی فولادها نیاز به یک زبان مشترک برای نام‌گذاری آنها ضروری است تا تمامی خریداران، فروشندگان، سازندگان و طراحان در اقصی نقاط دنیا بتوانند فولاد مورد نظر خود را انتخاب کنند. بدین منظور استانداردهای مختلفی تدوین شده است که سیستم نام‌گذاری توسط انستیتوآهن و فولاد آمریکا (AISI) و استاندارد ملی آلمان (DIN) در ایران متداول‌تر می‌باشد، لذا به توضیح مختصر این دو استاندارد نام‌گذاری می‌پردازیم.

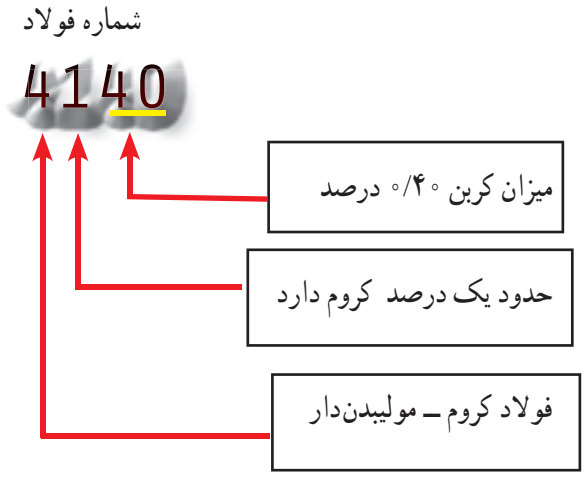
الف) نام‌گذاری فولادها براساس استاندارد AISI : مطابق جدول (۷ــ۵) در سیستم نام‌گذاری AISI برای نام‌گذاری فولادها، از یک عدد چهار رقمی‌استفاده می‌شود که اولین رقم از سمت چپ نشان دهنده نوع فولاد است، مثلاً عدد ۱ نشان‌دهنده فولاد ساده کربنی و اعداد بالاتر از ۲ نشان‌دهنده فولاد آلیاژی است، دومین رقم نشان دهنده مقدار تقریبی عنصر آلیاژی اصلی است و رقم‌های سوم و چهارم نشان دهنده میزان کربن به‌صورت صدم درصد است.

جدول۷ــ۵ ــ دسته‌بندی فولادها بر اساس استانداردAISI

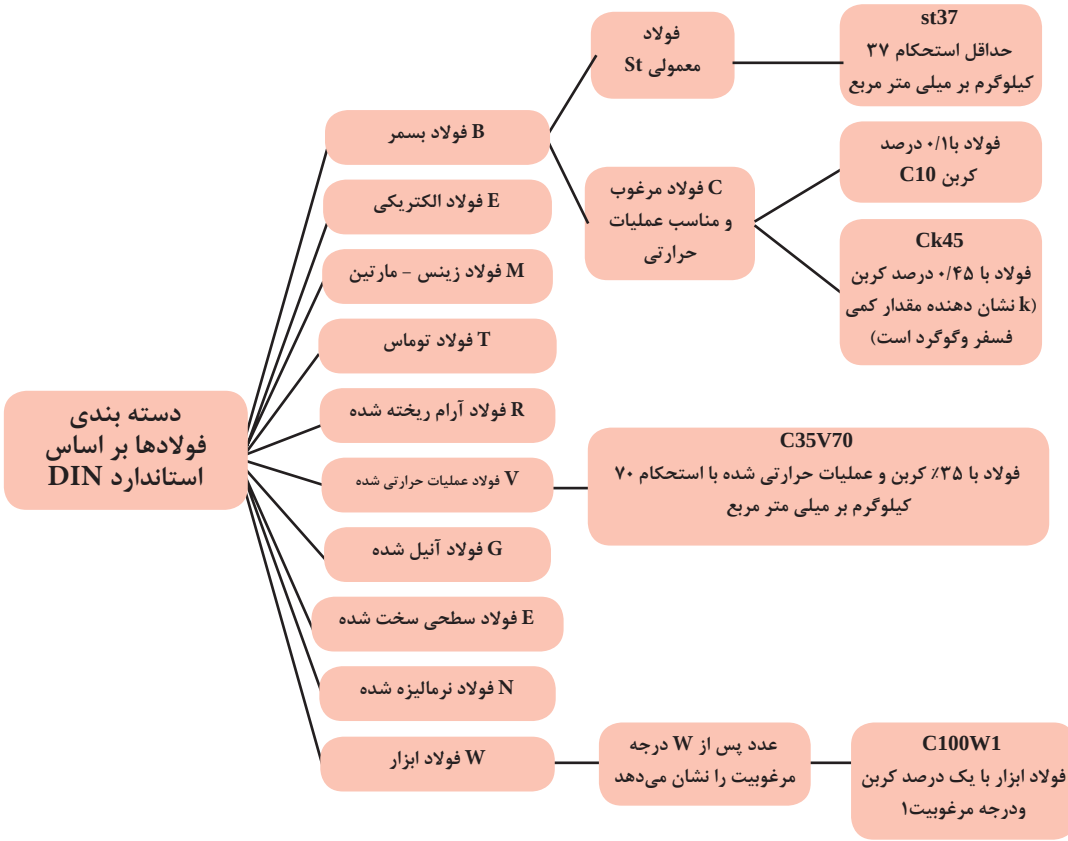
شماره فولاد	نوع فولاد	شماره فولاد	نوع فولاد
۱۰xx	کربنی ساده	۴۳xx	نیکل ــ کروم ــ مولیبدن دار
۱۱xx	سولفیدی	۴۶xx	نیکل ــ مولیبدن دار
۱۳xx	منگنزدار	۵xxx	کروم دار
۲xxx	نیکل‌دار	۶xxx	کروم ــ وانادیوم دار
۳xxx	نیکل ــ کروم‌دار	۸xxx	کروم ــ مولیبدن ــ کم نیکل
۴۰xx	مولیبدن‌دار	۹xxx	نیکل ــ کروم ــ کم مولیبدن
۴۱xx	کروم ــ مولیبدن‌دار		

برای درک بهتر به مثال‌های زیرتوجه کنید :





ب) نام‌گذاری براساس استاندارد DIN : در استاندارد DIN ابتدا فولادها بر حسب روش تولید و عملیات صورت گرفته روی آنها تقسیم‌بندی می‌شوند که به هر دسته یک حرف لاتین اختصاص داده می‌شود(نمودار ۱۰ــ۵). در مرحله بعد فولادهای ساده کربنی را با حروف اختصاری C و St مشخص می‌کنند که در نمودار (۱۰ــ۵) برای هرکدام مثال ذکر شده است.



نمودار ۱۰ــ۵ــ نام‌گذاری فولادها براساس استاندارد DIN

ولی در مورد نام‌گذاری فولادهای آلیاژی براساس استاندارد DIN دو حالت در نظر گرفته می‌شود؛

۱ــ اگر مجموع عناصر آلیاژی کمتر از ۵ درصد باشد.

مثال : ۳۵ Ni Mn Cr ۷ ۳ ۱ : مثال بالا را در نظر بگیرید. اولین عدد از سمت چپ نشان دهنده میزان کربن می‌باشد، یعنی عدد ۳۵ که در ضریب ۱/۱۰۰ ضرب می‌شود. بنابراین مقدار کربن برابر با ۰/۳۵ درصد می‌باشد. سپس هریک از عناصر آلیاژی به ترتیب میزان آن از بیشتر به کمتر نوشته می‌شود و در انتها اعدادی که به ترتیب مربوط به عناصر آلیاژی مذکور می‌باشد، آورده می‌شود. برای پیدا کردن درصد این عنصر آلیاژی باید عدد مربوطه را بر ضریب هر عنصر که در جدول (۸ــ۵) آمده

است تقسیم کرد.

جدول ۸ــ۵ ــ ضرایب عناصر آلیاژی برای نام‌گذاری فولادهای کم آلیاژ (براساس استاندارد DIN)

ضریب	عنصر آلیاژی
۴	Cr,Co,Mn,Ni,Si,W
۱۰	Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V, Zr
۱۰۰	Ce,N,P,S
۱۰۰۰	B

بنابراین در مثال بالا مقدار هریک از عناصر آلیاژی به قرار زیر است :

Ni: ۱/۷۵ ٪ (۷/۴)

Mn: ۰/۷۵ ٪ (۳/۴)

Cr: ۰/۲۵ ٪ (۱/۴)

ب) اگر مجموع عناصر آلیاژی بیشتر از ۵ درصد باشد : در فولادهای پرآلیاژ (بیش از ۵ درصد عنصر آلیاژی دارند) همانند روش (الف) عمل می‌شود با این تفاوت که حرف X به اول آن افزوده می‌شود، سپس عناصر آلیاژی به ترتیب از مقدار بیشتر به کمتر می‌آید و بعد از آن مقدار عناصر آلیاژی بدون ضریب (به‌جز کربن که بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود) قرار می‌گیرد.

مثال : X۵ Cr Ni Mo ۱۸ ۱۰۳

C: ۰/۰۵ ٪ (۵/۱۰۰)

Cr: ۱۸ ٪

Ni: ۱۰ ٪

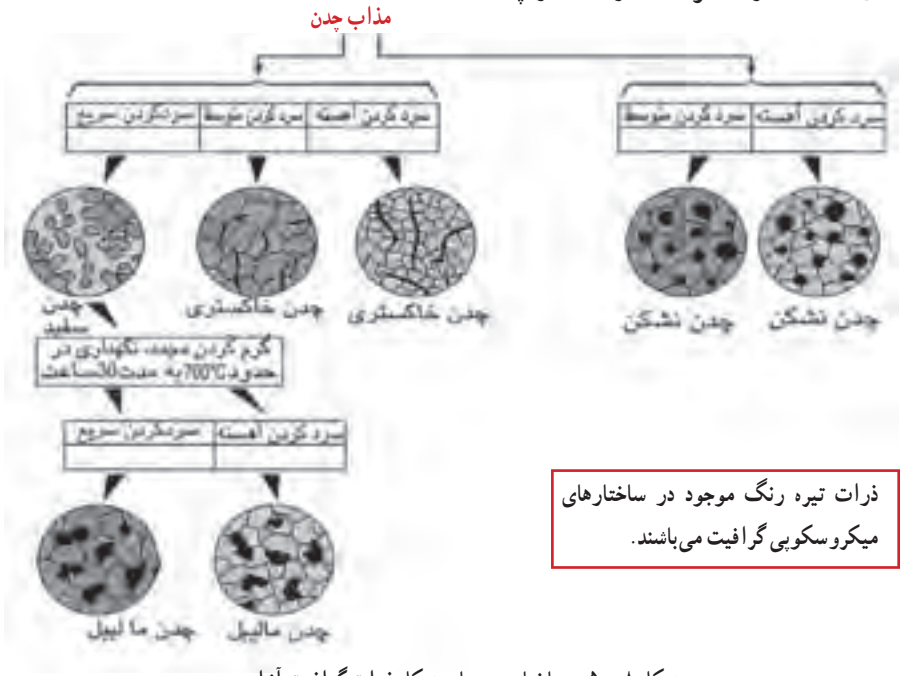
Mo: ۳ ٪

۴ــ۵ــ چدن

چدن‌ها دسته‌ای از آلیاژهای آهنی محتوی کربن و سیلیسیم هستند که مقدار کربن در آن‌ها بیشتر از ۲/۱۴ درصد است (به‌طور معمول بین ۳ تا ۴/۵ درصد کربن دارند). هم‌چنین ممکن است برحسب کاربرد دارای عناصر دیگری مثل کرم، منگنز و غیره به ترکیب چدن‌ها اضافه شود.

نقطه ذوب چدن‌ها نسبت به فولادها به مراتب کمتر است (حدود ۱۱۵۰ الی ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد). بنابراین به راحتی ذوب و ریخته‌گری می‌شوند، اما چدن‌ها ترد و شکننده‌اند. از این رو ساده‌ترین روش ساخت و تولید قطعات چدنی ریخته‌گری است.

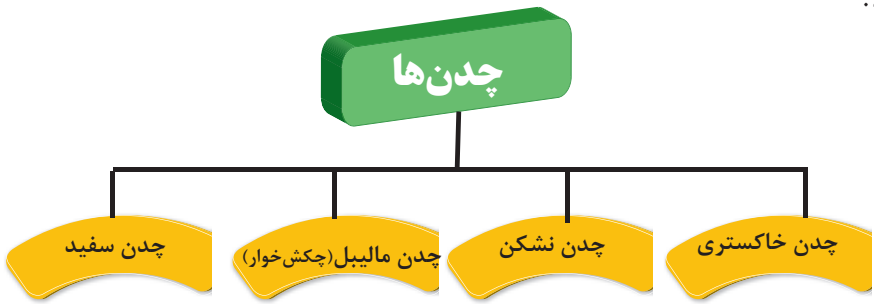
۱ــ۴ــ۵ــ دسته‌بندی چدن‌ها : یک روش ساده و متداول برای دسته‌بندی چدن‌ها، شکل ذرات گرافیت در ساختار چدن و رنگ ظاهر سطح مقطع شکست آنها می‌باشد، درشکل(۸ــ۵) فرم‌های مختلف ذرات گرافیت در ساختار چدن‌ها نشان داده شده است.



ذرات تیره رنگ موجود در ساختارهای میکروسکوپی گرافیت می‌باشند.

شکل ۸ــ۵ــ ساختار چدن‌ها و شکل ذرات گرافیت آزاد

بر اساس توضیحات ذکر شده چدن‌ها را مطابق نمودار (۱۱ــ۵) می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.



نمودار ۱۱ــ۵ ــ تقسیم‌بندی چدن‌ها

الف) چدن سفید : سطح مقطع شکست آلیاژ سفید رنگ است و تمام کربن موجود در آلیاژ به‌صورت ترکیب با آهن (Fe_3C) می‌باشد. چدن سفید بسیار ترد و شکننده است و در مواردی که هدف مقاومت در برابر سایش و سختی مد نظر می‌باشد مثل غلطک‌های دستگاه نورد کاربرد دارد.

ب) چدن خاکستری : سطح مقطع شکست آلیاژ خاکستری رنگ است چون بخشی از کربن موجود در آلیاژ به صورت گرافیت ورقه‌ای یا رشته‌ای شکل درآمده است. چدن خاکستری قابلیت بالایی در جذب ارتعاشات دارد و از استحکام و سختی مناسبی نیز برخوردار است. لذا در مواردی مثل بدنه دستگاه‌های تراش و فرز کاربرد دارد.

ج) چدن نشکن یا گرافیت کروی : چنانچه به ترکیب مذاب چدن خاکستری قبل از ریخته‌گری مقدار اندکی منیزیم یا سدیم اضافه شود باعث می‌شود شکل ذرات گرافیت تغییر کند. در این نوع چدن ذرات گرافیت به صورت کروی شکل یا شبیه کره می‌باشند. استحکام و انعطاف‌پذیری چدن نشکن نسبت به چدن خاکستری بیشتر است لذا کاربرد گسترده این چدن‌ها در مواردی مثل شیرآلات، پمپ، میل لنگ، چرخ دنده و ماشین آلات صنعتی مشابه است.

د) چدن مالیبل یا چکش‌خوار : چنان‌چه چدن سفید برای مدت نسبتاً طولانی در دمای حدود ۷۰۰ یا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد کاربید آهن (Fe_3C) موجود در ساختار چدن تجزیه شده و ذرات گرافیت خوشه‌ای شکل تشکیل می‌شود. این چدن‌ها از استحکام و انعطاف‌پذیری یا چکش‌خواری مناسبی برخوردار می‌باشند و در مواردی مثل شاتون، چرخ دنده‌های انتقال نیرو، تجهیزات راه آهن و به‌طورکلی در قطعات مهندسی تحت شرایط سخت‌کاری کاربرد دارند.

در جدول (۹ــ۵) اطلاعات بیشتری در خصوص ترکیب، خواص مکانیکی و موارد متداول کاربرد چدن‌ها در صنعت آورده شده است.

جدول ۹ــ ۵ ــ نام‌گذاری، ترکیب تقریبی، حداقل خواص فیزیکی و نمونه کاربرد چدن‌های خاکستری، نشکن و مالیبل

نمونه کاربرد	ترکیب (wt%)[a]	خواص مکانیکی: انعطاف‌پذیری [%EL in 50 mm (2 in.)]	خواص مکانیکی: استحکام تسلیم [MPa (kat)]	خواص مکانیکی: استحکام کششی [MPa (kat)]
چدن خاکستری				
قطعات ریختگی که در آنها استحکام زیاد مورد توجه نیست	3.40–3.7 C, 2.55 Si, 0.7 Mn	–	–	124 (18)
بلوک‌های استوانه‌ای کوچک، کلگی‌های استوانه‌ای، پیستون‌ها، صفحه ترمز، قطعات انتقال نیرو	3.2–3.5 C, 2.20 Si, 0.8 Mn	–	–	173 (25)
قطعات ریختگی موتور دیزل، سیلندر و پیستون	3.0–3.3 C, 2.0 Si, 0.8 Mn	–	–	276 (40)
چدن نشکن (کروی)				
قطعات مخازن تحت فشار مانند شیرآلات و بدنه پمپ	3.5–3.8 C, 2.0 – 2.8 Si,	18	276 (40)	414 (60)
دنده‌های استحکام بالا و اجزاء ماشین‌آلات پیستون‌ها، دنده‌ها، غلتک	0.05 Mg, <0.20 Ni, <0.10 Mo	3 2	483 (70) 621 (90)	689 (100) 827 (120)
چدن مالیبل				
کاربرد مهندسی عمومی در دماهای معمولی و بالا	2.3–2.7 C, 1.0 – 1.75 Si,<0.55Mn	10	224 (32)	345 (50)
	2.4–2.7C, 1.25–1.55 Si, < 0.55 Mn	6	310 (45)	448 (65)

جدول ۱۰ــ۵ــ کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون

نوع چدن	تصویر نمونه کاربردی
چدن چکش‌خوار (مالیبل)	
چدن خاکستری	
چدن سفید	
چدن نشکن (گرافیت کروی)	

آزمون پایانی

۱ــ عنصر اصلی آلیاژی در فولادهای ساده کربنی کدام است؟

الف) کروم ب) کربن ج) وانادیوم د) تنگستن

۲ــ چه قطعاتی از فولاد پرکربن ساخته می‌شوند؟ (سه مورد)

۳ــ با افزایش کربن در فولاد ساده کربنی ..... کاهش یافته و ..... افزایش می‌یابد.

الف) قابلیت جوشکاری ــ سختی ب) انعطاف‌پذیری ــ قابلیت جوشکاری

ج) قابلیت سوهان‌کاری ــ انعطاف‌پذیری د) سختی ــ قابلیت جوشکاری

۴ــ برای مقاوم کردن فولاد در مقابل خوردگی آن‌را با کدام عنصر آلیاژ می‌کنند؟

الف) وانادیوم ب)کروم ج)روی د)منگنز

۵ــ فولادهای میکرو آلیاژ چه نوع فولادهایی هستند؟

الف) فولادهای ساده کربنی

ب) فولادهایی که مقدار کمی‌عناصر آلیاژی مثل مولیبدن وانادیوم و تیتانیوم دارند.

ج) فولاد آلیاژی کروم‌دار

د) فولاد زنگ نزن

۶ــ فولاد ابزار علاوه بر کربن چه عناصر آلیاژی دیگری دارد؟

۷ــ با توجه به استاندارد AISI فولاد ۴۱۴۰ دارای چه مقدار کربن است؟

الف) ۴۰٪ ب) ۰/۰۴٪ ج) ۰/۴٪ د) ۴٪

۸ــ علاوه بر آهن و کربن کدام عنصر از اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده چدن‌ها می‌باشد؟

الف) سیلیس ب) گوگرد ج) فسفر د) منگنز

۹ــ بارزترین خاصیت چدن‌ها چیست؟

الف) جوش‌پذیری ب) انعطاف‌پذیری

ج) ریخته‌گری د) هدایت الکتریکی و حرارتی

فصل ششم

فلزات غیرآهنی

هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ ویژگی آلیاژهای آلومینیوم را بیان کند.

۲ــ موارد مهم کاربرد آلیاژهای آلومینیوم را نام ببرد.

۳ــ ویژگی مس و آلیاژهای آن را بیان کند.

۴ــ موارد مهم کاربرد مس و آلیاژهای آن را نام ببرد.

۵ــ موارد مهم کاربرد فلز روی را در صنعت بیان کند.

۶ــ موارد مهم کاربرد فلز قلع را در صنعت بیان کند.

۷ــ خواص مهم فلزات روی و قلع را نام ببرد.

۱ــ۶ــ آلومینیوم

در صنعت، آلومینیوم پس از فولاد در ردیف دوم از نظر پرکاربردترین فلز قرار دارد. توسعه سریع آلومینیوم مربوط به خواص ویژه آن است. جرم حجمی آلومینیوم در حدود یک سوم فولاد یا مس می‌باشد ولی نسبت استحکام به وزن بعضی از آلیاژهای آلومینیوم از فولاد بیشتر است. آلومینیوم و آلیاژهای آن دارای هدایت الکتریکی و گرمایی مناسب و منعکس کننده خوبی برای نور و گرما می‌باشند. آلومینیوم و آلیاژهای آن دارای مقاومت به خوردگی و قابلیت ریخته‌گری مناسب و شکل‌پذیری خوبی برای تولید مقاطع مختلف نظیر : لوله، پروفیل، نبشی و ... دارند. جدول (۱ــ۶) خصوصیات آلومینیوم را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۶ــ خواص فیزیکی مهم آلومینیوم

نام، علامت اختصاری	Aluminum, Al
جرم حجمی	۲/۷ gr/cm^3
رنگ	نقره ای
حالت ماده	جامد
نقطه ذوب	۶۶۰° C
رسانایی الکتریکی	۳۷/۷ ×۱۰^6 زیمنس[۱]
رسانایی گرمایی	۲۳۷ W/m × °K
ساختار کریستالی	Fcc
ظرفیت گرمایی ویژه	۹۰۰J/Kg × °K

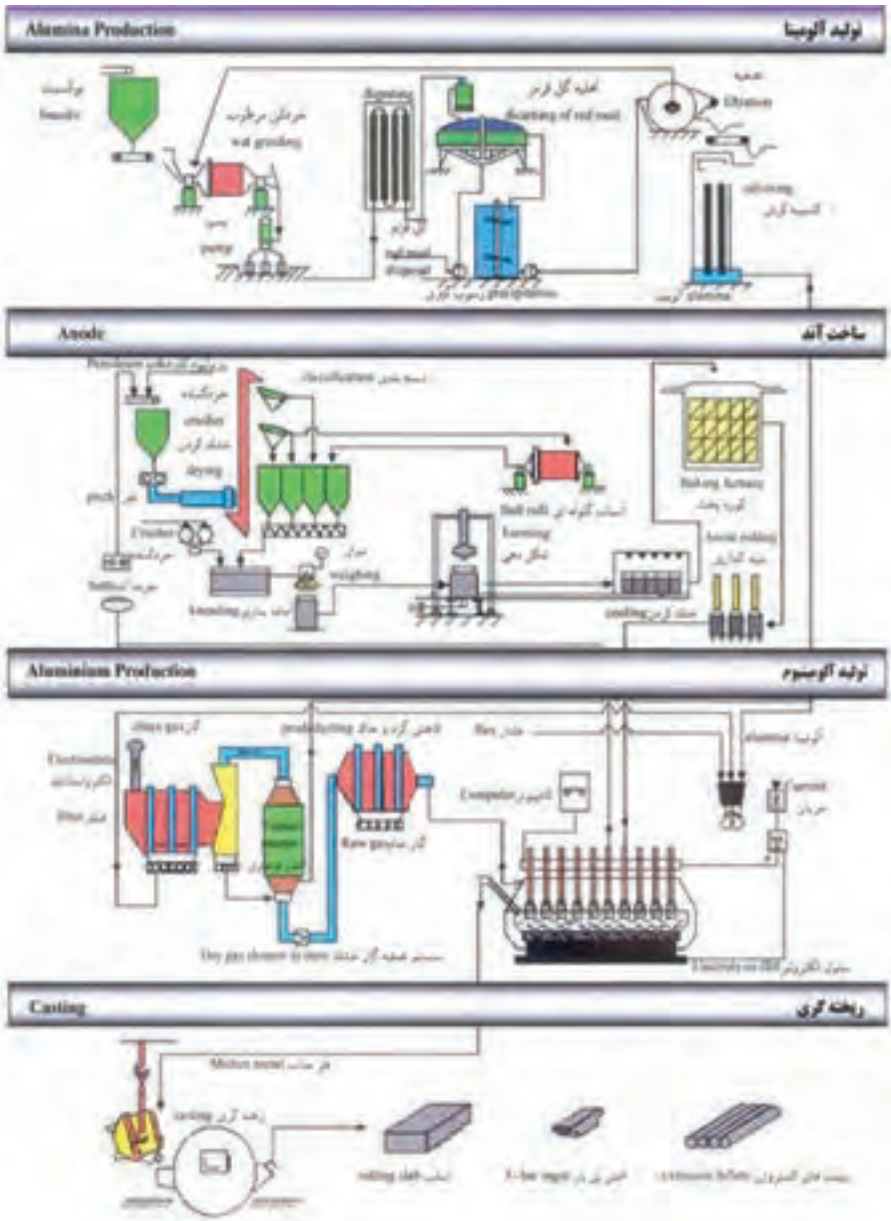
در جدول (۲ــ۶) دلایل و موارد کاربرد آلیاژهای آلومینیومی در صنایع مختلف نشان داده شده است.

۱ــ زیمنس واحد رسانایی جریان الکتریسیته و معادل $\frac{۱}{\text{اهم}}$ می‌باشد.

جدول ۲ــ۶ــ کاربرد آلومینیوم در صنایع مختلف

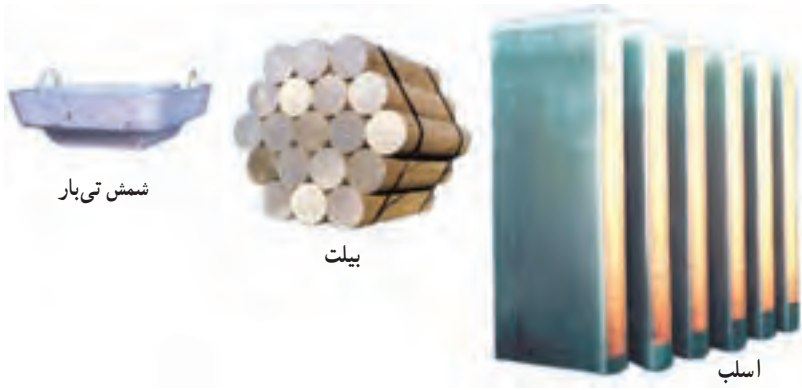
کاربرد	دلیل استفاده و نمونه کاربرد صنعتی	
صنایع هوا و فضا (هواپیماها و راکت‌ها)	● سبک بودن ● بالا بودن نسبت استحکام به وزن	
صنایع حمل و نقل (ریلی و خودرو)	● بالا بودن نسبت استحکام به وزن ● مقاومت به خوردگی بالا	
صنایع کشتی‌سازی	● مقاومت به خوردگی بالا ● بالا بودن نسبت استحکام به وزن	
صنایع بسته بندی	● مقاوم در برابرخوردگی ● سبکی (موجب کاهش هزینه‌های حمل و نقل می‌شود) ● به راحتی استرلیزه می‌شود	

۱ــ۱ــ۶ــ تولید آلومینیوم :آلومینیوم یکی از فراوان‌ترین فلزات پوسته زمین است که به‌صورت ترکیب با عناصر دیگر مثل آهن، سیلیسیم و اکسیژن وجود دارد. مهم‌ترین سنگ معدن آن بوکسیت است که برای تولید آلومینیوم به‌کار می‌رود. در شکل (۱ــ۶) مراحل تولید آلومینیوم به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱ــ۶ــ مراحل تولید آلومینیوم

همان‌طورکه در شکل (۱ــ۶) دیده می‌شود در انتهای مراحل تولید، آلومینیوم به شکل‌های گوناگون تولید می‌شود که مهم‌ترین آنها اسلب، شمش تی بار و بیلت می‌باشد. شکل (۲ــ۶) تصویر این تولیدات را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۶ــ محصولات متداول کارخانه تولید آلومینیوم

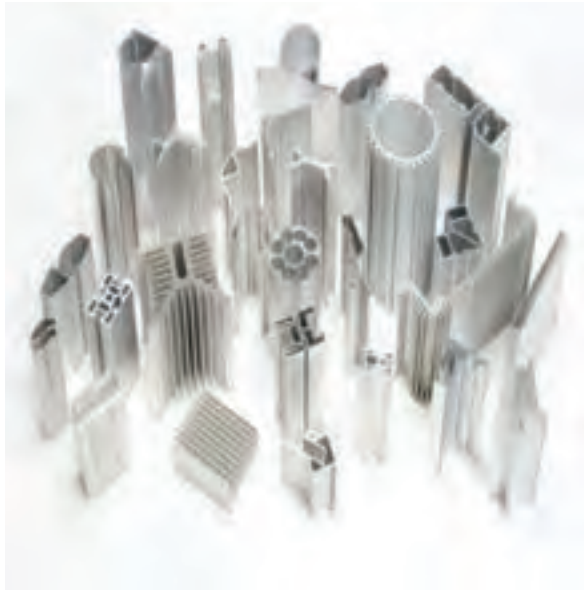
آلومینیوم اراک — آلومینیوم هرمزگان (هرمزال)

شکل ۳ــ۶ــ کارخانه‌های بزرگ تولید آلومینیوم در ایران

محصولات تولید شده در کارخانه‌های بزرگ آلومینیوم‌سازی (مثل اراک و هرمزگان) به کمک عملیات شکل‌دهی نظیر : اکستروژن[۱]، آهنگری[۲] و ... به صورت محصولات نیم ساخته به بازار عرضه می‌شوند، شکل (۴ــ۶) انواع متداول نیم ساخته‌های آلومینیومی را نشان می‌دهد.

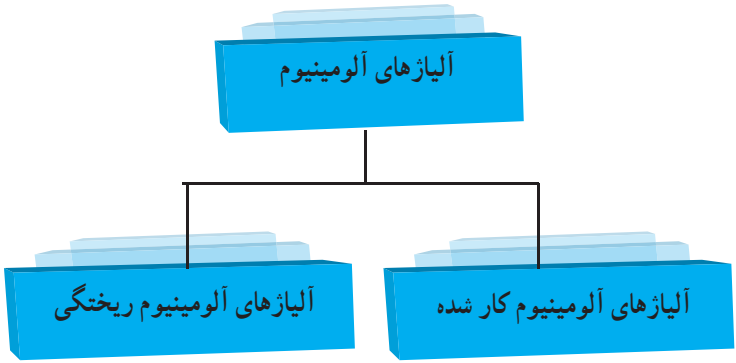
۱ــ Extrosion

۲ــ فورج (Forg)



شکل ۴ــ۶ــ انواع متداول نیم ساخته‌های آلومینیومی

۲ــ۱ــ۶ــ آلیاژهای آلومینیوم : آلومینیوم و آلیاژهای آن را به دو دسته کلی مطابق نمودار (۱ــ۶) تقسیم‌بندی می کنند.



نمودار ۱ــ۶ــ تقسیم‌بندی آلومینیوم و آلیاژهای آن

برای شناسایی هر یک از دو گروه آلیاژهای آلومینیوم از یک عدد چهار رقمی استفاده می‌شود که در جدول (۳ــ۶) گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم همراه با کاربرد صنعتی آنها آورده شده است.

جدول ۳ــ۶ــ گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم و موارد کاربرد آن در صنعت

نام گروه	عنصر آلیاژی اصلی	ویژگی‌های مهم	موارد کاربرد صنعتی	نمونه کاربرد
۱xxx	با درجه خلوص ۹۹ درصد	ــ مقاوم در برابر خوردگی ــ هدایت حرارتی و الکتریکی بالا ــ خواص مکانیکی پایین	ــ هادی‌های الکتریکی ــ تجهیزات واحدهای شیمیایی ــ زرورق	
۲xxx	مس	ــ خواص مکانیکی بالا ــ چقرمگی شکست و استحکام خوب در سرما	ــ پیستون ــ رینگ	

ادامه جدول ۳ــ۶ــ گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم و موارد کاربرد آن در صنعت

نام گروه	عنصر آلیاژی اصلی	ویژگی‌های مهم	موارد کاربرد صنعتی	نمونه کاربرد
۳xxx	منگنز	ــ استحکام متوسط	ــ سازه ساختمانی ــ دکل برق	
۴xxx	سیلیسیم	ــ مقاوم در برابر سایش	ــ پیستون ــ سیلندر ــ سرسیلندر ــ فیلتر هوا	
۵xxx	منیزیم	ــ استحکام متوسط ــ جوشکاری خوب ــ مقاوم به خوردگی ــ شکل‌پذیری خوب	ــ نمای ساختمان ــ بدنه کشتی ــ لوازم خانگی	

ادامه جدول ۳ــ۶ــ گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم و موارد کاربرد آن در صنعت

نام گروه	عنصر آلیاژی اصلی	ویژگی‌های مهم	موارد کاربرد صنعتی	نمونه کاربرد
۶xxx	منیزیم ــ سیلیسیم	ــ قابلیت فرم‌پذیری خوب ــ مقاوم در برابر خوردگی ــ استحکام متوسط ــ سختی‌پذیری مناسب	ــ لوازم خانگی ــ قطعات خودرو	
۷xxx	روی	ــ عملیات حرارتی‌پذیر ــ استحکام مناسب ــ مقاوم به سایش	ــ اتصالات ــ صنایع ریلی	

۲ــ۶ــ مس

مس یکی از فلزات مهم صنعتی است که در حالت غیرآلیاژی و هم‌چنین به‌صورت آلیاژی کاربرد وسیعی دارد. فلز مس قرمز رنگ است و از خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار بالایی برخوردار است، به‌طوری‌که در بین فلزات، تنها خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی نقره از مس بیشتر است. شکل (۵ــ۶) چند نمونه قدیمی از سازه‌های مسی را نشان می‌دهد. و جدول (۴ــ۶) خصوصیات مس را نشان می‌دهد.

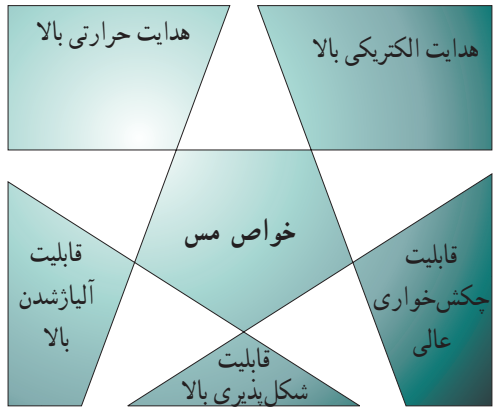
سرنیزه‌های ساخته شده از مفرغ — ظرف مسی — سرویس قاشق و چنگال مسی

شکل ۵ــ۶ــ چند سازه مسی مربوط به دوران قدیم

جدول ۴ــ۶ــ خصوصیات مس

نام و علامت اختصاری	Copper, Cu
جرم حجمی	۸/۹۲ gr/cm^3
رنگ	قرمز
حالت ماده	جامد
نقطه ذوب	۱۰۸۴ °C
رسانایی الکتریکی	$۵۹/۶\times۱۰^۶$ زیمنس $\frac{۱}{اهم}$
رسانایی گرمایی	۴۰۱ W/m × °K

با نگاه به خواص مس که در نمودار (۲ــ۶) آمده است، می‌توان به نقش مس و آلیاژهای آن به‌عنوان یک فلز غیرآهنی مهم صنعتی پی‌برد.

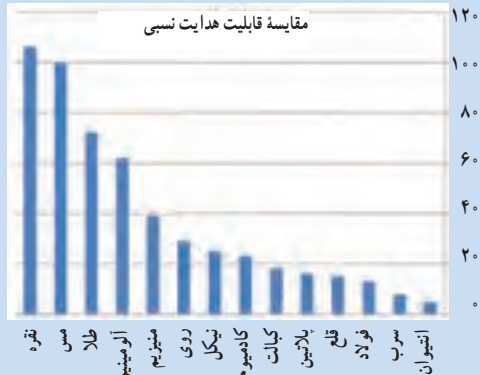


نمودار ۲ــ۶ــ ویژگی‌های خوب فلز مس

بیشتر بدانیم

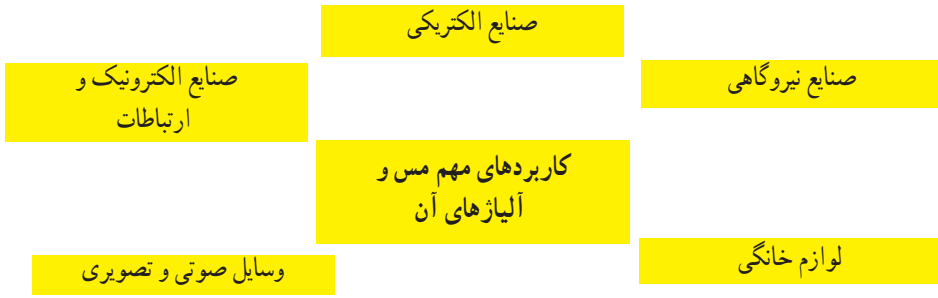
مقایسه هدایت حرارتی و الکتریکی

قابلیت هدایت الکتریسیته عبارت است از قدرت هدایت الکتریسیته واحد طول جسم بر واحد سطح مقطع. در بین فلزات به ترتیب نقره، مس و آلومینیوم بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی را دارند که در لوازم خانگی، صنعتی، تجهیزات آزمایشگاهی و پزشکی، قطعات رایانه‌ای، تجهیزات ارتباطی، نیروگاهی، نظامی و ... کاربرد دارند. در نمودار زیر هدایت الکتریکی فلزات خالص تجاری را در دمای محیط به‌طور نسبی مشاهده می‌کنید.

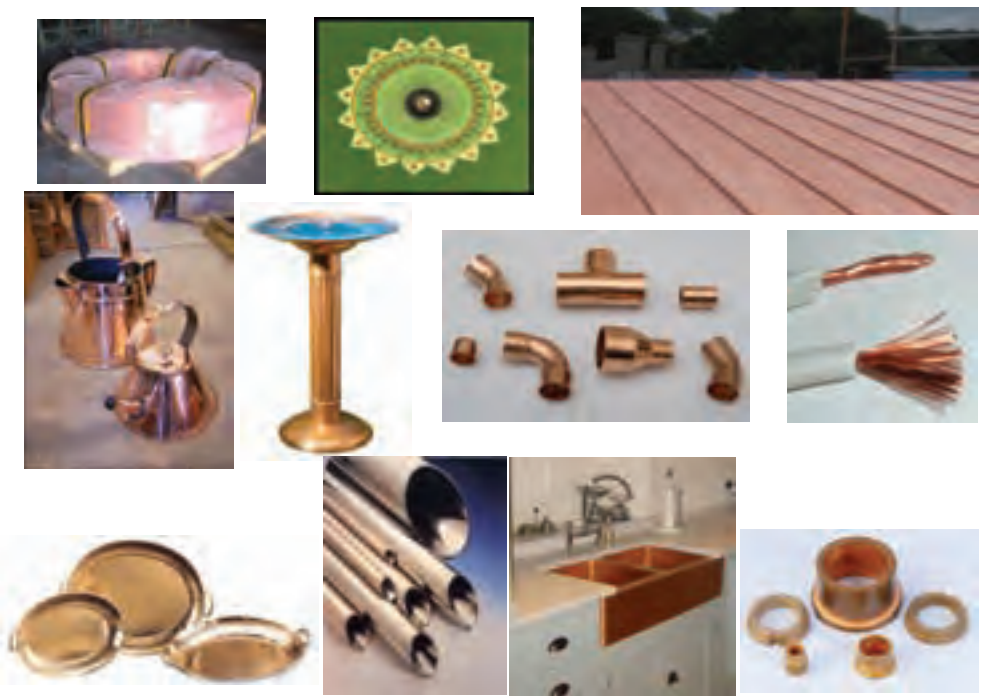


بهتر است بدانید که با افزایش عناصر آلیاژی به مس هدایت الکتریکی آن به‌طور محسوسی کاهش پیدا می‌کند.

۱ــ۲ــ۶ــ کاربردهای مس : با توجه به خواص مطلوب مس از آن در صنایع مختلف استفاده می‌شود که در نمودار (۳ــ۶) و شکل (۶ــ۶) موارد مهم و پرکار برد مس و آلیاژهای آن را نشان می‌دهد.

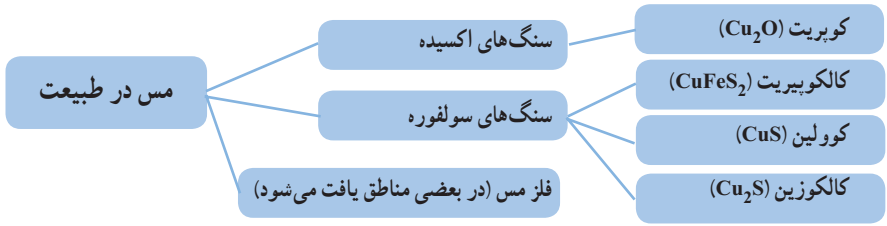


نمودار ۳ ــ۶ــ صنایعی که از مس و آلیاژهای آن به صورت گسترده استفاده می‌کنند.



شکل ۶ــ۶ــ چند نمونه از کاربردهای صنعتی مس و آلیاژهای آن

۲ــ۲ــ۶ــ تولید مس : منبع مس در طبیعت سنگ‌های معدنی حاوی مس می‌باشند که حدود پنج هزارم درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهند. نمودار (۴ــ۶) ترکیب‌های موجود مس را در طبیعت نشان می‌دهد.



نمودار ۴ــ۶ــ ترکیب‌های مس (موجود در طبیعت)

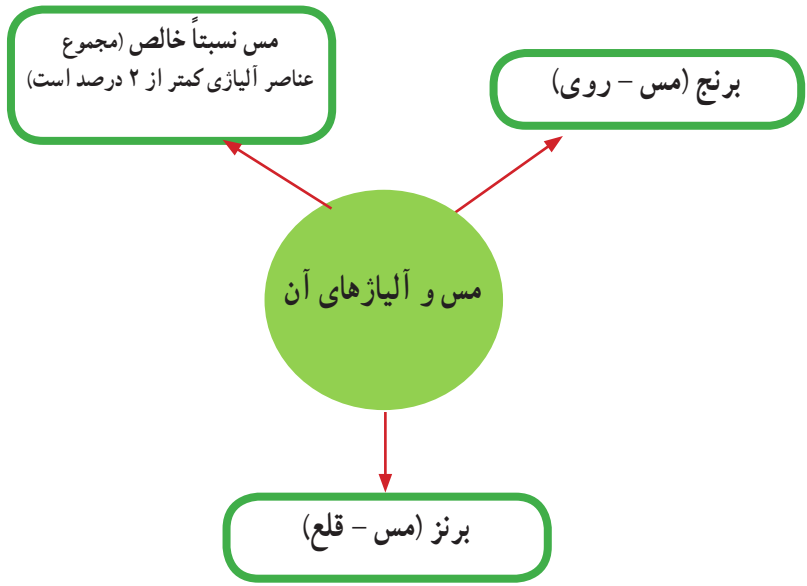
در کارخانه‌های تولید مس مثل (مجتمع مس سرچشمه) از هر دو فرآیند متالورژی استخراجی (پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی) برای استخراج و تولید مس استفاده می‌شود.

شکل (۷ــ۶) فرآیند استخراج مس را به روش پیرومتالورژی نشان می‌دهد. (درفصل دوم فرآیند استخراج مس به روش هیدرومتالورژی یا متالورژی تر بررسی شد).

شکل ۷ــ۶ــ شکل شماتیک فرآیند تولید مس به روش پیرومتالورژی

۱ــ لجن آندی : منظور رسوبات قوانین ته نشین شده در کف ظرف می‌باشد که به‌طور معمول محتوی عناصر فلزی همراه کانی‌های مس می باشند که تا این مرحله از فرآیند استخراج حذف نشده‌اند.

۳ــ۲ــ۶ــ دسته‌بندی مس و آلیاژهای آن : مس و آلیاژهای مسی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد که نمودار (۵ــ۶) این دسته‌بندی را نشان می‌دهد.



نمودار ۵ ــ۶ــ دسته‌بندی مس و آلیاژهای آن در حالت کلی

هم‌چنین از طرف انجمن توسعه مس (CDA) [۱] آلیاژهای مس را به دو دسته آلیاژهای کار شده و آلیاژهای ریختگی تقسیم نموده است که در جدول(۵ــ۶) این تقسیم‌بندی مشاهده می‌شود.

۱ــ Copper Development Association

جدول۵ــ۶ــ دسته‌بندی آلیاژهای مس بر اساس استاندارد CDA

نوع آلیاژ		ترکیب آلیاژی	نمونه آلیاژی	نمونه کاربرد در صنعت
آلیاژهای کارشده	xx۱C	مس با درجه خلوص بالا	۱۰۱C ۹۹/۹۹ ٪ Cu	لوله‌های مسی، کابل‌ها و لوله‌های دوجداره، تجهیزات تقطیر
	xx۲C	آلیاژهای مس ــ روی(برنج)	۲۱۰C ۹۵ Cu ٪ ۵/۰ Zn	لوله‌ها، مدال‌ها، فیوز، پلاک
	xx۳C	آلیاژهای مس ــ روی ــ سرب (برنج‌های سرب‌دار)	۳۶۵C	مبدل‌های حرارتی
	xx۴C	آلیاژهای مس ــ روی ــ قلع (برنج‌های دارای قلع)	۴۱۵C	سوئیچ و بست‌های الکتریکی
	xx۵C	آلیاژهای مس ــ قلع (برنزهای فسفردار)	۵۰۵C(فسفر برنز) ۹۸/۷۵ Cu ۱/۲۵ Sn و کمی فسفر	اتصالات الکتریکی، سخت‌افزار خطوط الکتریکی
	xx۶C	آلیاژهای مس ــ آلومینیوم (برنزهای آلومینیوم)، آلیاژهای مس ــ سیلیسیم (برنزهای سیلیسیم‌دار)	۶۰۸C(برنز آلومینیم) ۹۵/۰ Cu ۵/۰ Al	مبردها، لوله‌های مبدل گرما و بخار، لوله‌های تقطیر
	xx۷C	مس ــ نیکل و مس ــ نیکل ــ روی	۷۱۰C ۷۹ Cu ۲۱ Ni	تقویت‌کننده‌های ارتباطی، فنرهای الکتریکی، لوله‌های مبدل گرما و بخار، بست فلزی، مقاومت‌ها
آلیاژهای ریختگی	xx۸C	آلیاژهای ریختگی با درصد زیاد مس، انواع برنج‌های ریختگی، آلیاژهای ریختگی برنز ــ منگنز	۸۵۴C	اتصالات رادیاتور، لامپ
	xx۹C	آلیاژهای ریختگی مس ــ قلع، مس ــ قلع ــ سرب، مس ــ قلع ــ نیکل، مس ــ آلومینیم ــ آهن، و مس ــ نیکل ــ آهن و مس ــ نیکل ــ روی	۹۰۵C	یاتاقان، بوش، رینگ، پیستون

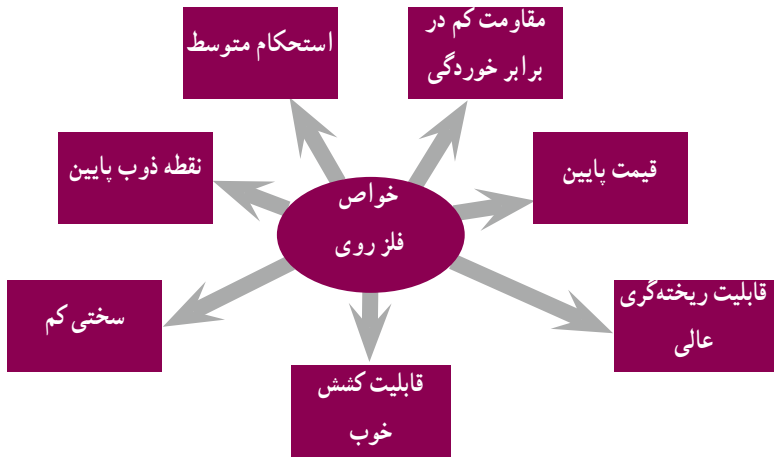
۳ــ۶ــ روی و قلع

در میان فلزات غیرآهنی روی و قلع پس از آلومینیوم و مس بیش‌ترین کاربرد را دارند.

۱ــ۳ــ۶ــ روی :جدول (۶ــ۶) ویژگی‌های فیزیکی مهم فلز روی و نمودار (۶ــ۶) خواص صنعتی آن را نشان می‌دهد.

جدول ۶ــ۶ــ ویژگی‌های مهم روی

نام، علامت اختصاری	Zinc, Zn
جرم حجمی	۷/۱۴ gr/cm^3
رنگ	خاکستری کم‌رنگ مایل به آبی
حالت ماده	جامد دیامغناطیس
نقطه ذوب	۶۹۲/۶۸ °K
رسانایی الکتریکی	$۱۰۶\times۶\times۱۰^۶$ زیمنس
رسانایی گرمایی	۱۱۶ W/m ×°K



نمودار۶ــ۶ ــ خواص فلز روی

با توجه به خواص فلز روی از این فلز بیشتر برای پوشش قطعات فولادی به‌منظور حفاظت در برابر خوردگی استفاده می‌شود.

گالوانیزه کردن: پوشش دادن سازه‌های فولادی را در حمام روی مذاب، فرآیند گالوانیزه (غوطه‌وری گرم) می‌گویند، در نتیجه این عمل لایه‌ای چسبنده، روی سطح فولاد تشکیل می‌شود. لوله‌ها و ورقه‌های گالوانیزه در صنایع مختلف کاربرد وسیعی دارند. علاوه بر روش غوطه‌وری گرم، از روش آبکاری و پاشش حرارتی نیز برای پوشش روی، در سطح فولاد استفاده می‌شود. پوشش گالوانیزه می‌تواند از خوردگی سازه فولادی در شرایط اتمسفری و یا در زیر خاک ممانعت کند. برای مثال دکل‌های انتقال نیرو در شرایط اتمسفری مقاوم است و دچار زنگ‌زدگی نمی‌شوند. شکل (۸ــ۶) خط تولید ورق و قوطی‌های گالوانیزه را نشان می‌دهد.

شکل ۸ــ۶ــ خط گالوانیزه کردن ورق و قوطی‌های فولادی

آلیاژهای روی: فلز روی به‌صورت خالص غیر از کاربرد پوشش‌دهی سطح سازه‌های فولادی که در بخش قبلی توضیح داده شد، کاربرد بسیار محدودی دارد و بیشتر به عنوان عنصر آلیاژی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از معروف‌ترین آلیاژهای روی می‌توان به زاماک[1] اشاره کرد که علاوه بر روی دارای عناصری مانند آلومینیوم، مس و منیزیم نیز می‌باشد.

۱ــ در ایران به سرب خشک معروف هستند.

۲ــ۳ــ۶ــ قلع : قلع فلز دیگری است که در پوشش‌های مقاوم به خوردگی (قلع اندود کردن)، آلیاژسازی، لحیم کاری و غیره کاربرد دارد. جدول (۷ــ۶) خصوصیات فیزیکی مهم فلز قلع را نشان می‌دهد.

جدول ۷ــ۶ــ خصوصیات فیزیکی مهم قلع

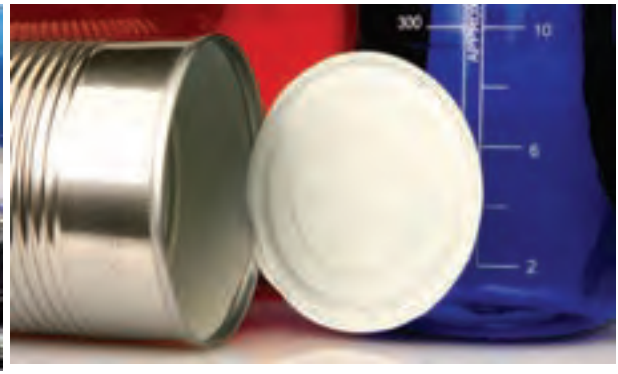
نام، علامت اختصاری	Tin, Sn
جرم حجمی	۷۳/۱ gr/cm^3
رنگ	خاکستری درخشان (نقره‌ای)
حالت ماده	جامد
نقطه ذوب	۱۳۲ $^\circ c$
رسانایی الکتریکی	۹/۱۷ $\times 10^6$ زیمنس
رسانایی گرمایی	۶۶/۶ $(W/m) \times {}^\circ K$

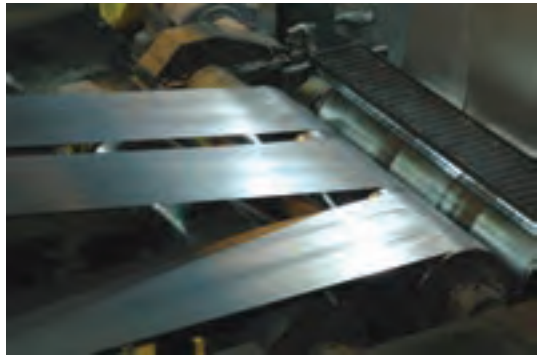
قلع استحکام کمی دارد اما در ترکیب با فلزات دیگر مثل، مس، سرب، تیتانیوم و روی باعث افزایش سختی و استحکام آنها می‌شود.

از عمده‌ترین کاربردهای قلع پوشش دهی ورق‌های فولادی به‌خاطر افزایش مقاومت در برابر خوردگی است. نکته قابل توجه این است که ورق‌های فولادی قلع اندود به‌راحتی قابلیت فرم‌دهی، جوشکاری و لحیم‌کاری دارند. بیشتر صفحات قلع اندود شده برای ظروف بسته‌بندی غذا استفاده می‌شوند.

کاربرد دیگر قلع در آلیاژهای یاتاقان می‌باشد (یاتاقان‌ها سطوح کم اصطکاک مناسبی برای نگهداری قطعات در حال چرخش یا لغزش ایجاد می‌کنند). هم‌چنین قلع در لحیم‌کاری نرم[۱] نیز به‌عنوان یکی از عناصر تشکیل دهنده لحیم مورد استفاده فراوان است. شکل (۹ــ۶) کاربرد ورق‌های قلع اندود را را در صنایع بسته‌بندی نشان می‌دهد.

۱ــ Soldering





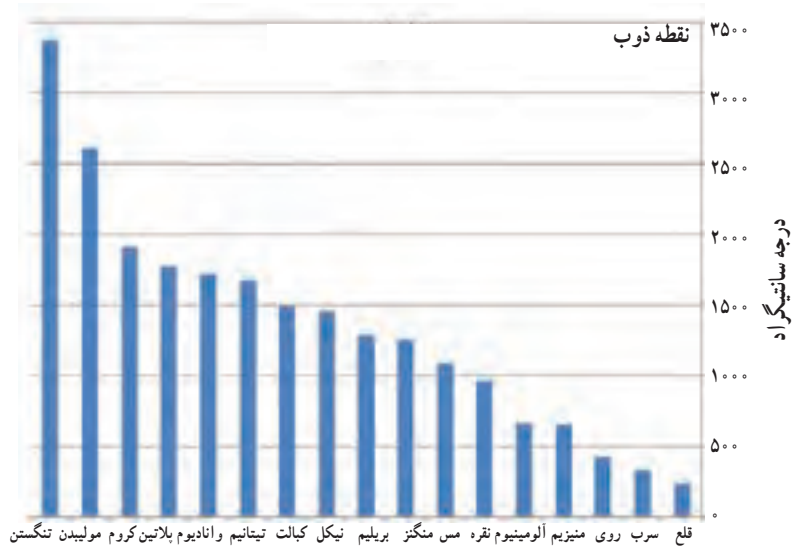
شکل ۹ــ۶ــ کاربرد ورق قلع اندود در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی

آلیاژهای قلع: از فلز قلع مثل فلز روی در حالت خالص برای پوشش دادن سطوح قطعات فولادی استفاده می‌شود ولی به‌عنوان عنصر آلیاژی هم موارد استفاده زیادی دارد از مهم‌ترین کاربردهای آلیاژهای قلع ساخت یاتاقان می‌باشد.

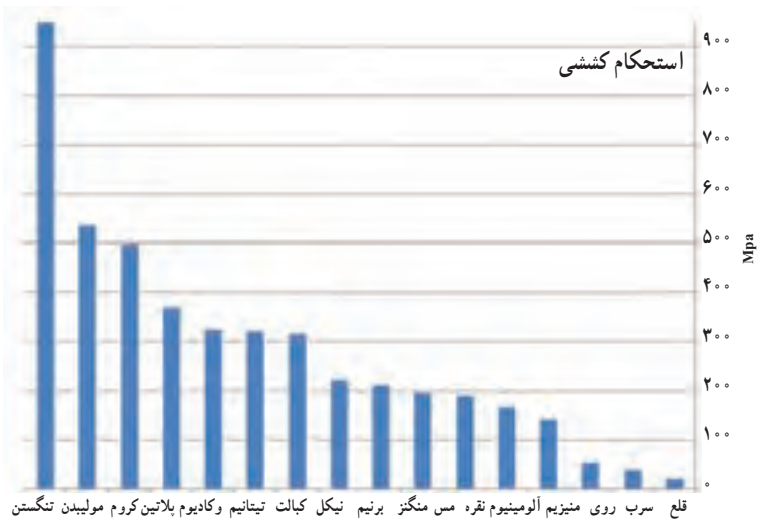
۴ــ۶ــ سایر فلزات غیرآهنی

سایر فلزات غیرآهنی متناسب با خواص و ویژگی‌های مربوط به خود به‌صورت خالص یا آلیاژ در ساخت و تولید سازهای مختلف صنعتی نقش مهمی را ایفا می‌نمایند.

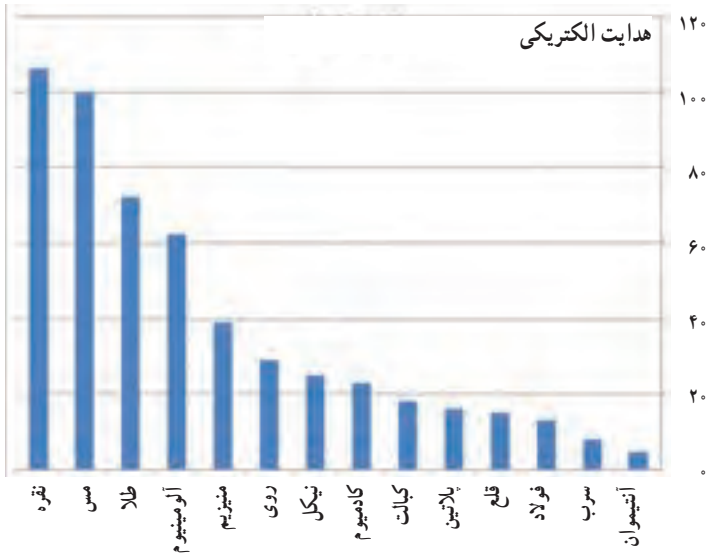
با توجه به این که فرصت بررسی تک‌تک عناصر فلزی در این بخش مقدور نمی‌باشد، لذا در نمودارهای مقایسه‌ای (نمودارهای۷ــ۶ تا ۱۰ــ۶) در مورد خواص مهم فیزیکی و مکانیکی عناصر فلزی متداول مورد استفاده در صنایع آمده است. هم‌چنین در جدول (۸ــ۶) برخی از خواص سایر فلزات غیرآهنی همراه با مهم‌ترین موارد کاربرد آنها در صنایع آورده شده است.



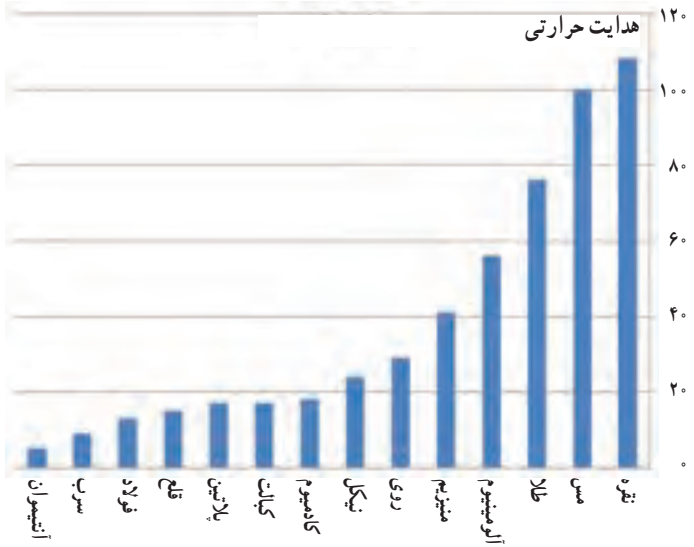
نمودار ۷ــ۶ــ مقایسه نقطه ذوب فلزات پرکاربرد در صنایع



نمودار ۸ــ۶ــ مقایسه استحکام کششی فلزات پرکاربرد در صنایع



نمودار ۹ــ۶ــ مقایسه هدایت الکتریکی فلزات پرکاربرد در صنعت



نمودار ۱۰ــ۶ــ مقایسه هدایت حرارتی فلزات پرکاربرد در صنعت

جدول ۸ــ۶ــ خواص و موارد کاربرد صنعتی برخی از فلزات غیرآهنی

فلز	خواص	موارد کاربرد صنعتی
نیکل	ــ هادی جریان الکتریسیته ــ مقاوم در برابر اکسیداسیون ــ براق	ــ تولید فولاد زنگ‌نزن ــ باطری قابل شارژ ــ کاتالیزور ــ آبکاری الکتریکی ــ سکه ــ ابزار ریخته‌گری و فلزکاری ــ ظروف آزمایشگاه‌های شیمی
کبالت	ــ فرومغناطیس ــ مقاوم در مقابل فرسایش ــ براق	ــ قطعات توربین ــ هواپیما (آلیاژهای دیرگداز) ــ آهن ربا ــ کاتالیزور در صنایع شیمیایی ــ رنگ سازی ــ باطری سازی
کروم	ــ سخت ــ براق ــ غیرقابل جوشکاری ــ مقاوم دربرابر زنگ زدگی ــ مقاوم‌دربرابراکسیداسیون	ــ قالب پخت آجر ــ سبز کردن رنگ شیشه ــ نوارهای مغناطیسی
تیتانیوم	ــ استحکام بالا ــ مقاوم درمقابل خوردگی ــ قابل جوشکاری ــ قابل عملیات حرارتی‌پذیر ــ شکل پذیری ــ مقاوم در برابر سایش	ــ موتور و هواپیما ــ ماشین های نساجی ــ تجهیزات شیمیایی ــ وسایل جراحی ــ وسایل ارتوپدی ــ نیروگاه اتمی و حرارتی
منیزیم	ــ سبک ــ استحکام پایین ــ قابل اشتعال	ــ مواد دیرگداز ــ آلیاژسازی ــ فلاش دوربین عکاسی ــ منور بمب‌های آتش‌زا
منگنز	ــ سخت ــ شکننده ــ فرومغناطیس	ــ آلیاژ سازی ــ پیل‌های خشک
تنگستن	ــ سخت ــ مقاوم در برابر فرسایش	ــ پوشش مقاوم به سایش ــ آلیاژسازی

آزمون پایانی

۱ــ خواص ویژه آلومینیوم که باعث گستردگی کاربرد آن شده است را بنویسید؟

۲ــ گالوانیزه کردن چیست؟

۳ــ محصولات با روکش روی در صنعت چه کاربردی دارد؟

۴ــ ورق‌های فولاد با پوشش قلع چه کاربردی دارند؟

۵ــ چرا از آلیاژ قلع برای ساخت یاتاقان‌ها استفاده می‌شود؟

۶ــ از کدام فلز جهت انتقال جریان برق بیشتر استفاده می شود؟

الف)مس ب)روی ج)آلومینیوم د)گزینه الف و ج

۷ــ برای گالوانیزه کردن سازه‌های فولادی از کدام روش استفاده می‌شود؟

الف)غوطه وری ب)پاشش حرارتی

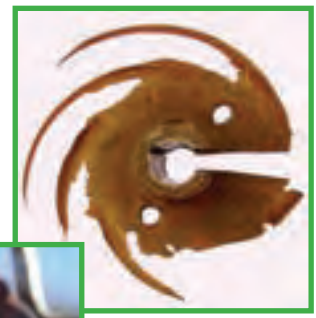
ج) آب‌کاری د)تمام موارد

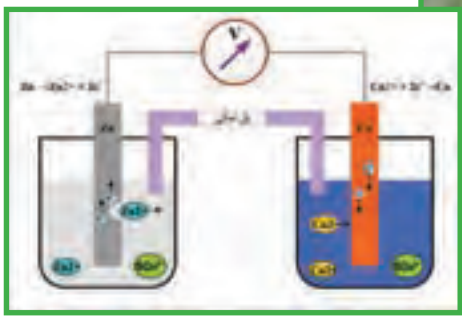
۸ــ ویژگی‌های مهم مس و آلیاژهای آن چیست؟

۹ــ کاربردهای مهم فلز آلومینیوم و آلیاژهای آن چیست؟

فصل هفتم

خوردگی و حفاظت از مواد





هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ مفهوم خوردگی مواد صنعتی به خصوص فلزات را توضیح دهد.

۲ــ ضرورت مطالعه در مورد خوردگی مواد صنعتی را بیان کند.

۳ــ انواع متداول خوردگی فلزات را بیان نماید.

۴ــ مکانیزم انواع متداول خوردگی فلزات را توضیح دهد.

۵ــ راهکارهای اصلی مبارزه با خوردگی فلزات را بیان کند.

۶ــ نقش پوشش‌های محافظ را در حفاظت از مواد صنعتی توضیح دهد.

۱ــ۷ــ مقدمه

تعریف خوردگی : خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.

مواد صنعتی از طرف عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل : گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری‌های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌شوند که ماده صنعتی به تدریج تخریب شده و از بین برود.

توجه

آیا می‌دانید بر اساس برآوردها در سطح بین‌المللی هزینه‌های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها می‌باشد.

آیا می‌توانید حدس بزنید از نظر ریالی این مقدار برای کشور ما چقدر می‌شود؟

به مثال‌های زیر توجه کنید.

همان‌طور که در شکل‌های (۱ــ۷ و ۲ــ۷) مشاهده می‌شود، نردبان فلزی و منبع آب به‌دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران و نیز مواد دیگر موجود درهوا به‌شدت دچار زنگ زدگی شده‌اند.

شکل ۱ــ۷ــ منبع آب در شرایط محیط دچار خوردگی شده است.

شکل ۲ــ۷ــ نردبان فلزی در شرایط حیاط خانه دچار خوردگی شده است.

مثال دیگر لاشه کشتی رها شده در ساحل دریا می‌باشد که مطابق شکل (۳ــ۷) به‌شدت دچار پوسیدگی شده و تخریب گردیده است.

شکل ۳ــ۷ــ لاشه کشتی در ساحل دریا به‌شدت دچار خوردگی شده است.

غیرفلزات هم دچار خوردگی می‌شوند؛ مثل : خرد شدن مجسمه‌های سنگی در اثر برف و باران (شکل ۴ــ۷)، تخریب سازه بتنی (شکل۵ ــ۷) و یا پوسیدن چوب و کاغذ به‌دلیل قرار گرفتن در محیط مرطوب نمونه‌هایی از خورده شدن مواد غیرفلزی هستند.

شکل ۴ــ۷ــ مجسمه سنگی تخت جمشید در اثر برف و باران و عوامل محیطی دیگر دچار آسیب‌دیدگی شده است.

شکل ۵ــ۷ــ سازه بتنی در اثر عوامل محیطی دچار تخریب گردیده است.

مواد پلاستیکی نیز دچار خوردگی می‌شوند. به طورمثال چنانچه ماده پلاستیکی برای مدت زیادی در معرض نور خورشید قرار گیرد، در اثر اشعه خورشید ساختمان اتمی آن تخریب شده و خواص خود را از دست می‌دهد و یا اگر برای مدتی در معرض مواد شیمیایی قرار گیرند در اثر واکنش با مواد شیمیایی دچار صدمه می‌شوند (شکل۶ــ۷).

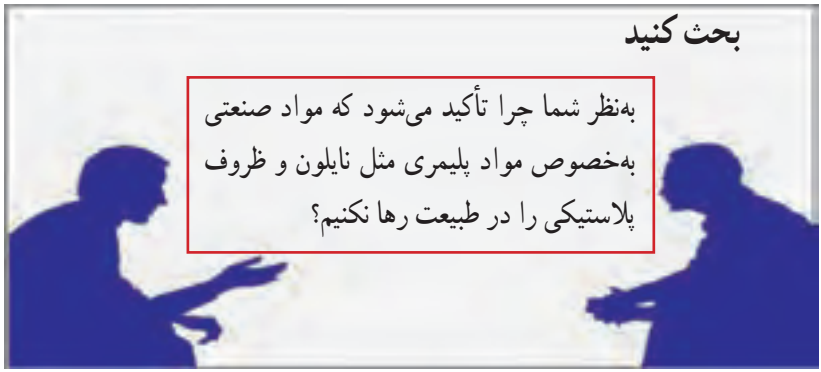
شکل۶ــ۷ــ قطعه پلاستیکی در معرض محلول شیمیایی دچار تورم و تخریب شده‌است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود همه مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می‌شوند، ولی با توجه به این‌که فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریعتر دچار پدیده خوردگی می‌شوند، لذا اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به‌کار می‌برند و در ادامه این فصل نیز خوردگی فلزات مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول (۱ــ۷) حدود زمان لازم برای خورده شدن و تجزیه سه دسته مهم مواد صنعتی به‌صورت تقریبی و نسبی جهت مقایسه آورده شده است.

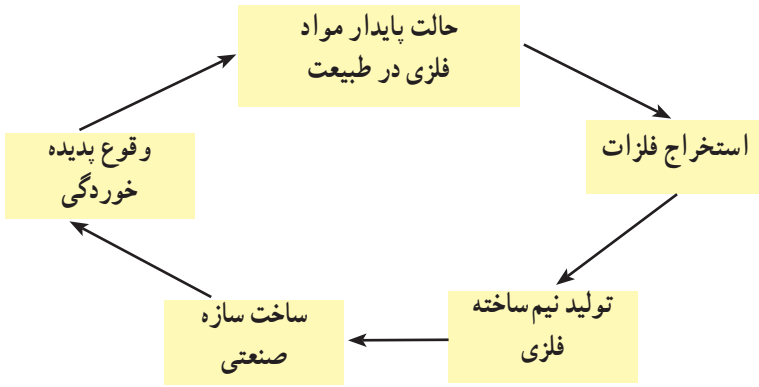
جدول ۱ــ۷ــ زمان تقریبی لازم برای خورده شدن و تجزیه مواد در طبیعت

ردیف	نوع ماده	زمان تقریبی جهت تجزیه شدن (سال)
۱	چوب و کاغذ	۱ تا ۲
۲	فلزات	۵ تا ۱۰
۳	پلیمرها	۳۰۰ تا ۴۰۰



۲ــ۷ــ خوردگی فلزات

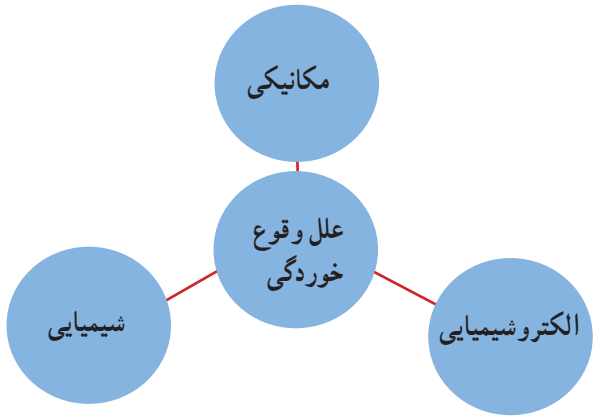
فرآیند خوردگی فلزات را می‌توان به‌عنوان بخشی از چرخه این مواد در طبیعت در نظر بگیریم که در نمودار(۱ــ۷) نشان داده شده است.



نمودار ۱ــ۷ــ چرخه گردش مواد فلزی در طبیعت

۳ــ۷ــ مکانیزم ایجاد خوردگی

عوامل اصلی ایجاد پدیده‌خوردگی را می‌توان مطابق نمودار (۲ ــ۷) به سه دسته تقسیم کرد که ممکن است هر یک به تنهایی و یا به‌صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورندهٔ موجود در محیط دارد.



نمودار ۲ــ۷ــ مکانیزم ایجاد خوردگی در فلزات

۱ــ۳ــ۷ــ خوردگی شیمیایی : در مورد خوردگی شیمیایی فلزات می‌توان به انحلال مقادیر کم مواد فلزی توسط حلال‌های آلی مثل انحلال آلومینیوم در تتراکلریدکربن (CCl_4) و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی می‌باشد که به‌دلیل این‌که این مکانیزم سهم بسیار کمی از خوردگی فلزات را به‌خود اختصاص می‌دهد بیش از این به بررسی آن نمی‌پردازیم.

۲ــ۳ــ۷ــ خوردگی الکتروشیمیایی : فلزات به‌دلیل ماهیت ساختمان اتمی که دارند عمدتاً دچار خوردگی الکتروشیمیایی می‌شوند؛ یعنی مکانیزم خوردگی، واکنش الکتروشیمیایی است که ضمن آن نقل و انتقال الکترون بین عوامل واکنش دهنده صورت می‌گیرد و در مورد فلزات آهنی به اصطلاح زنگ‌زدن نامیده می‌شود.

چنانچه یک قطعه آهنی در شرایط اتمسفر مرطوب قرار گیرد، واکنش‌های زیر روی سطح آن اتفاق می‌افتد.

نیمه واکنش اکسید شدن (آندی) $2Fe \rightarrow 2Fe^{+2} + 4e^-$

نیمه واکنش احیا شدن (کاتدی) $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

واکنش کلی (جمع دو نیم واکنش) $\mathbf{2Fe + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2\downarrow}$ (رسوب)

$Fe(OH)_2$ رسوب تیره رنگی است که ابتدا روی سطح قطعه آهنی تشکیل می‌شود و در اثر مرور زمان به دلیل واکنش بیشتر با اکسیژن مطابق واکنش صفحهٔ بعد به‌صورت رسوب $Fe(OH)_2\downarrow$ در می‌آید

که رنگ آن قرمز قهوه‌ای یا آجری رنگ است و ما آن را به‌عنوان زنگ آهن روی سطح قطعه زنگ زده می‌بینیم(شکل ۷ــ۷).

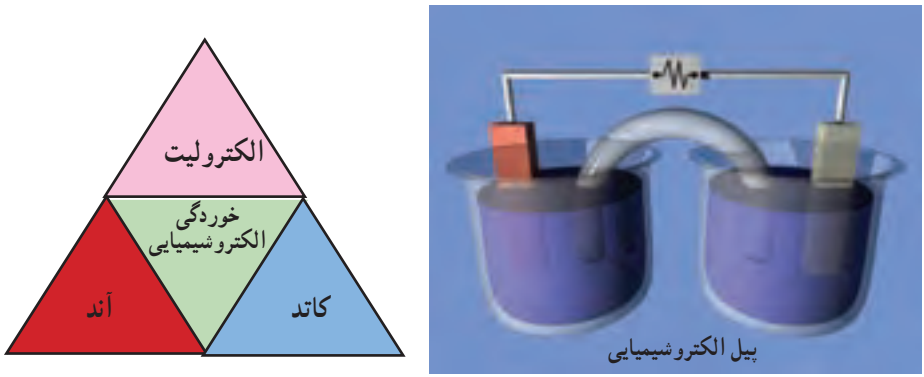
ترکیب شیمیایی زنگ آهن

$$2Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow \underset{\text{(رسوب)}}{Fe(OH)_3 \downarrow}$$

شکل ۷ــ۷ــ سطح زنگ‌زده ورق‌های آهنی در اثر قرار گرفتن در شرایط اتمسفر مرطوب

بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی زمانی اتفاق می‌افتد که در اثر تماس فلز با محیط پیرامون خود یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل شود.

شکل (۸ــ۷) اجزای اصلی تشکیل‌دهنده پیل‌الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



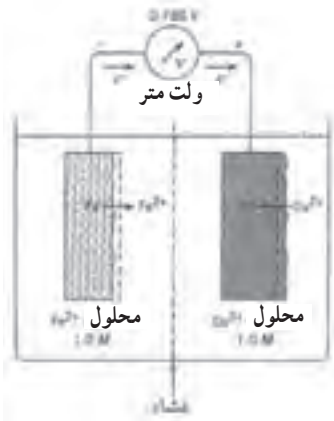
شکل ۸ــ۷ــ اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

تعریف

آند : سطحی است که روی آن واکنش آندی یا اکسیداسیون رخ می دهد. در نتیجه به‌طور معمول دچار انحلال یا خوردگی می‌گردد.

کاتد : سطحی است که روی آن واکنش کاتدی رخ می‌دهد و دچار خوردگی یا انحلال نمی‌شود.

الکترولیت : محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون‌های مثبت و منفی در داخل آن می‌باشد.



شکل ۹ــ۷ــ تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین تیغه‌های مسی و آهنی در محلول اسیدی

در شکل(۹ــ۷) نمایش تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین تیغه‌های مس و آهن به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.

واکنش‌های پیل الکتروشیمیایی نشان داده شده در شکل(۹ــ۷) عبارت است از :

نیم واکنش آندی $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

نیم واکنش کاتدی $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu\downarrow$ (رسوب)

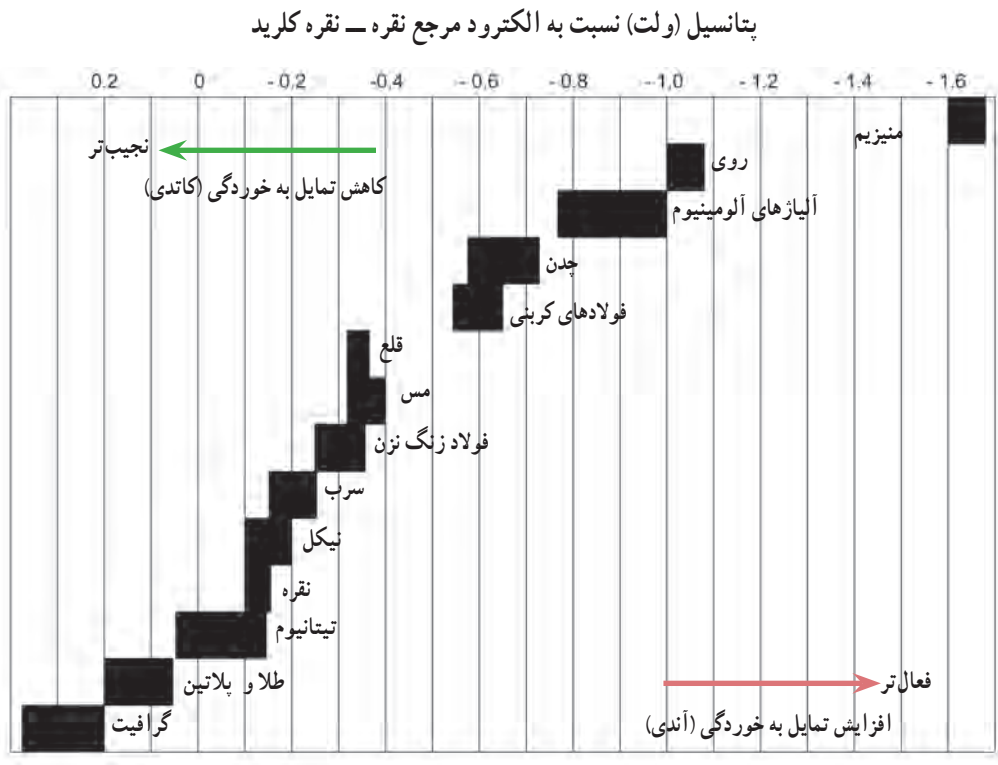
$$Cu^{2+} + Fe \rightarrow Cu + Fe^{2+}$$

واکنش کلی : در اینجا تیغه آهنی ضمن از دست دادن الکترون حل می شود و در مقابل یون‌های مثبت مس با جذب الکترون‌های آزاد به‌صورت خنثی در آمده و روی سطح تیغه مسی رسوب می‌کنند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود جهت جریان الکترون‌ها از طرف تیغه آهنی به‌طرف تیغه مسی می‌باشد.

لازم به یادآوری است در شرایط مشابه شکل (۷ــ ۷)که تنها یک نوع ورقه فلزی در معرض

محیط خورنده قرار می‌گیرد، ابتدا پیل‌های الکتروشیمیایی کوچکی روی سطح تشکیل می‌شوند و باگذشت زمان سطوح آندی و کاتدی جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه پس از مدتی تمام سطح دچار زنگ‌زدگی می‌شود.

تمایل فلزات مختلف نسبت به از دست دادن الکترون و اکسید شدن متفاوت است. شاخص این تمایل متفاوت، پتانسیل الکتروشیمیایی است که در خصوص تعدادی از عناصر فلزی و آلیاژهای آنها در نمودار (۳ــ۷) نشان داده شده است.



نمودار ۳ــ۷ــ پتانسیل الکتروشیمیایی چند فلز متداول جهت مقایسه میزان تمایل به اکسیداسیون

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فلزات و آلیاژهای با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت‌تر تمایل کمتری نسبت به اکسید شدن و خوردگی دارند (نجیب ترند). برعکس فلزات و آلیاژهایی‌که در بالا و سمت راست شکل قرار دارند، دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر می‌باشند؛ یعنی تمایل بیشتری به خوردگی دارند (فعال‌ترند).

بنابراین چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، فلز فعال‌تر که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر می‌باشد با سرعت بیشتری دچار خوردگی می‌گردد. به این نوع از خوردگی در اصطلاح خوردگی گالوانیک می‌گویند که در ادامه برای درک بهتر موضوع چند مثال آورده شده است.

در شکل(۱۰ــ۷) پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی نسب شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۱۰ــ۷) نشان داده شد، چون فلز مس نسبت به فولاد کربنی در موقعیت مثبت‌تری قرار دارد، لذا تمایل کمتری به اکسید شدن یا خوردگی دارد (به‌عنوان سطح کاتدی عمل می‌کند). در عوض سطح ستون فولادی با شدت بیشتری دچار خوردگی می‌شود (به‌عنوان سطح آندی عمل می‌کند).

شکل ۱۰ــ۷ــ تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی

اتفاق مذکور مطابق شکل (۱۱ــ۷) در مورد اتصال شیر برنجی با لوله فولادی افتاده و منجر به خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی گردیده است.

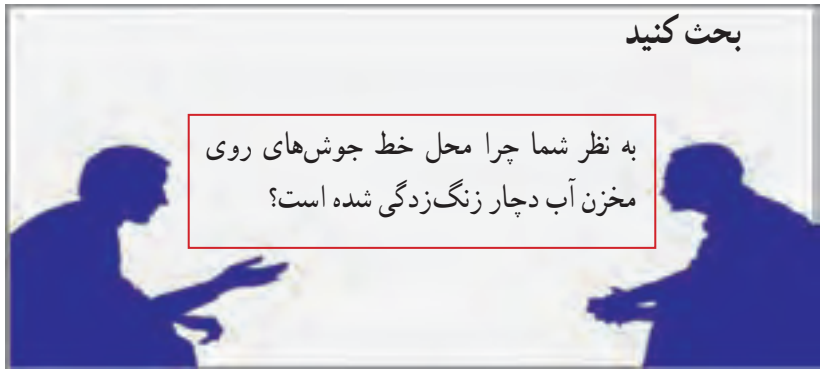
شکل ۱۱ــ۷ــ خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی

مثال دیگری از خوردگی گالوانیک در شکل (۱۲ــ۷) نشان داده شده است؛ در اینجا دو قطعه لوله مسی توسط زانوی فولادی دارای پوشش روی (گالوانیزه) به‌هم متصل شده اند و براساس آنچه که در مثال قبلی توضیح داده شد، زانوی فولادی به‌شدت دچار خوردگی شده و رسوبات سفید رنگ ناشی از خوردگی فلز روی (zn) روی سطح آن تجمع یافته است.

شکل ۱۲ــ۷ــ خوردگی زانوی فولادی گالوانیزه در اتصال با لوله مسی

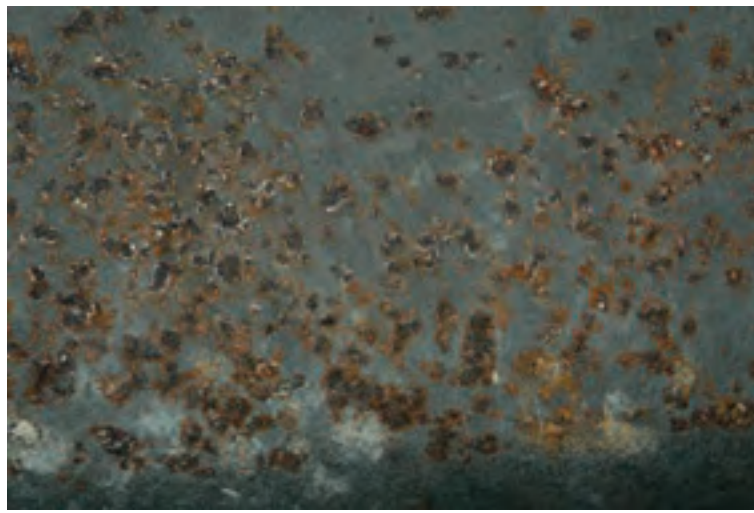
حال به شکل(۱۳ــ۷) نگاه کنید.

شکل ۱۳ــ۷ــ منبع آب از جنس فولاد کربنی در محل خط جوش‌ها دچار زنگ زدگی شده است.



یکی از دلایل وقوع چنین اتفاقی می‌تواند ناشی از جوشکاری مخزن با الکترودی از جنس متفاوت با جنس صفحات فلزی مخزن آب باشد، به‌طوری‌که باعث شده است فلز جوش با جنس متفاوت (فعال‌تر)، تمایل بیشتری نسبت به خوردگی و زنگ زدن پیدا نماید؛ این مثال به ما می‌آموزد در موقع جوشکاری سازه‌های فلزی تا جای ممکن از الکترودی استفاده کنیم که جنس فلز جوش حاصل مشابه و یا نزدیک به جنس فلز اصلی باشد.

گاهی اوقات به دلایل مختلف خوردگی روی سطح قطعات و سازه‌های فلزی به صورت یکنواخت صورت نمی‌گیرد. بلکه مطابق شکل (۱۴ــ۷) در بعضی نقاط متمرکز می‌شود، نتیجه آن ایجاد یکسری حفره روی سطح می‌باشد که به آن در اصطلاح خوردگی حفره‌دارشدن می‌گویند.



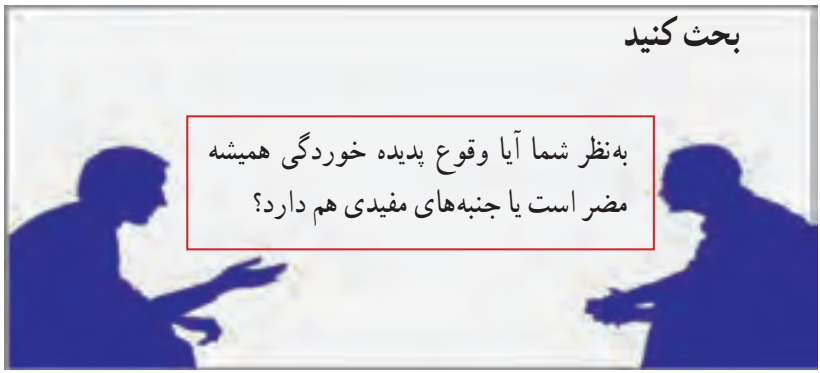
شکل۱۴ــ۷ــ سطح فولاد دچار خوردگی موضعی(حفره‌دارشدن) شده است.

خوردگی موضعی به طور معمول در مناطقی از سازه که سیال حالت ساکن پیدا کند، یا در زیر موادی که به عنوان عایق به‌کار می‌روند (شکل ۱۵ــ۷) و یا روی سطح فولادهای زنگ نزن در محیط‌های دارای یون کلرید(Cl^-) شایع است.

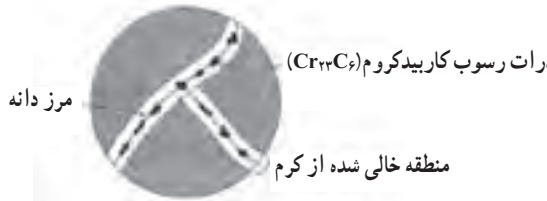
لازم به یادآوری است در این نوع خوردگی مقدار کل انحلال فلز نسبت به خوردگی یکنواخت کمتر است ولی به‌دلیل تمرکز خوردگی در سطح کوچک به‌سرعت سبب تخریب سازه صنعتی می‌گردد و چون از قبل نمی‌توان سرعت خوردگی را پیش‌بینی کرد خطرناک است.

شکل ۱۵ــ۷ــ خوردگی موضعی لوله فولادی در زیر عایق حرارتی (پشم شیشه)

همان‌طور که ملاحظه شد بیشتر تخریب‌هایی که ما به‌صورت روزمره در خصوص اضمحلال سازه‌های فلزی پیرامون خود شاهد هستیم ماهیت الکترو شیمیایی دارند و سرعت خوردگی متناسب با مقدار و نوع عوامل واکنش‌کننده مثل : رطوبت، دما، اکسیژن، CO_2، SO_2 و... افزایش می‌یابد.



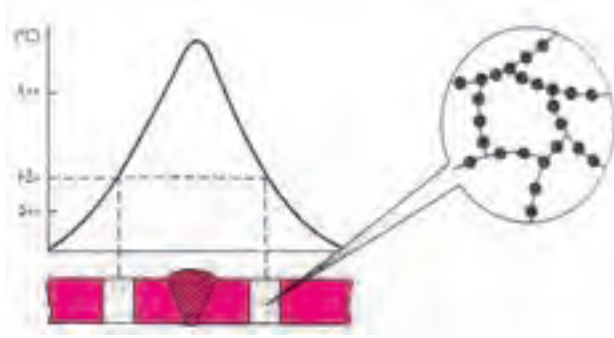
فولادهای زنگ نزن ممکن است به دلیل آن‌چه در زیر توضیح داده می‌شود، دچار نوعی دیگری از خوردگی موضعی با مکانیزم الکتروشیمیایی شوند. همان‌طور که می‌دانید دلیل زنگ نزدن این نوع از فولادها وجود درصد بالای کروم در ترکیب آلیاژی است که با ایجاد اکسید کروم روی سطح فولاد آن‌را حفاظت می‌نماید ولی چنان‌چه ناحیه‌ای از فولاد زنگ نزن برای مدتی در محدوده دمایی حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد، اتم‌های کروم و کربن موجود در فولاد زنگ نزن با هم ترکیب شده و به‌صورت ذرّات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد رسوب می‌نمایند (شکل ۱۶ــ۷). این موضوع سبب کاهش مقدار اتم‌های کروم در ناحیه اطراف رسوبات کاربیدی می‌شود. لذا این نواحی به‌دلیل کاهش مقدار درصد کروم دچار خوردگی و زنگ زدگی می‌شوند.



شکل ۱۶ــ۷ــ رسوب ذرات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد زنگ‌نزن

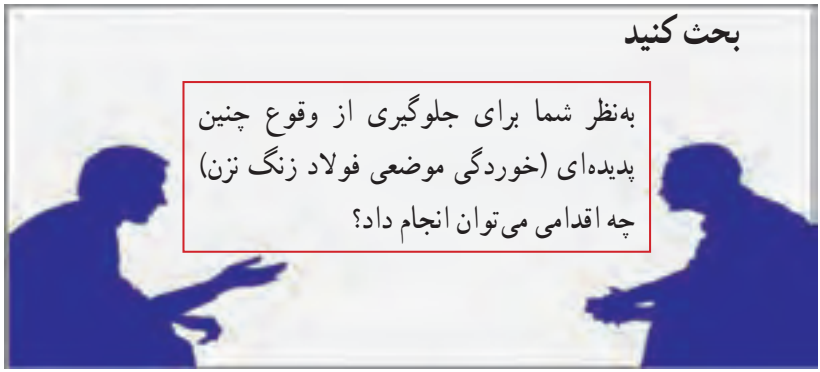
این اتفاق همان‌طور که در شکل (۱۷ــ۷) مشاهده می‌شود می‌تواند درحین جوشکاری فولادهای زنگ نزن رخ دهد و سازه های جوشکاری شده از جنس فولاد زنگ نزن پس از مدتی در نواحی مجاور خط جوش‌ها دچار خوردگی شوند(شکل ۱۸ــ۷).

بنابراین در موقع جوشکاری فولادهای زنگ نزن باید به این موضوع توجه کنیم و با اتخاذ تدابیر مختلف، تا حد ممکن از وقوع چنین پدیده‌ای جلوگیری نماییم .



شکل ۱۷ــ۷ــ رسوب ذرّات کاربید کروم در منطقه کنار خط جوش که زمان بیشتری در محدوده دمای ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه قرار می‌گیرد.

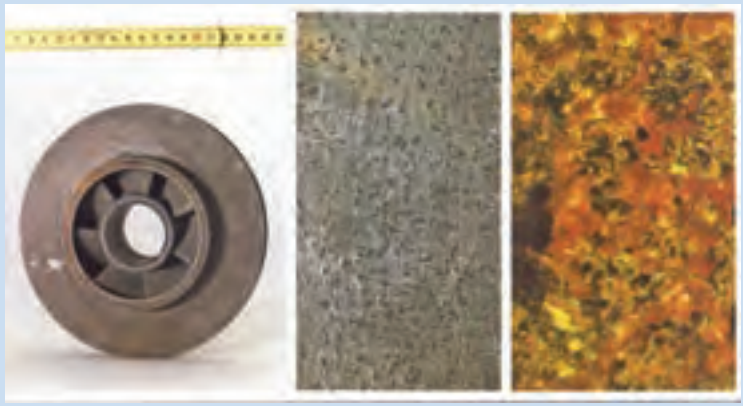
شکل ۱۸ــ۷ــ فولاد زنگ نزن در نواحی مجاور خط جوش دچار خوردگی موضعی شده است.



بیشتر بدانیم

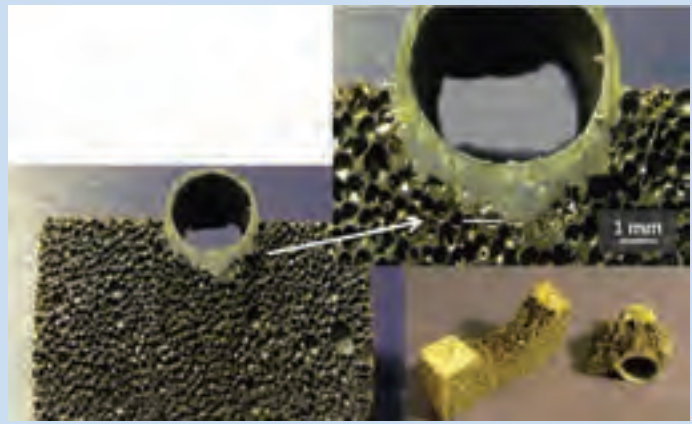
خوردگی یا جدایش انتخابی

حالت دیگری از خوردگی با مکانیزم الکتروشیمیایی می‌تواند همان‌طور که در شکل‌های (۱۹ــ۷) و (۲۰ــ۷) نشان داده شده است در بعضی از آلیاژهای فلزی مثل چدن‌ها و آلیاژ برنج (مس و روی) رخ دهد که به آن در اصطلاح خوردگی انتخابی یا جدایش انتخابی می‌گویند.



شکل ۱۹ــ۷ــ گرافیتی شدن پره پمپ از جنس چدن که دچار خوردگی انتخابی شده است.

در این نوع خوردگی همان‌طور که از نام آن مشخص است یکی از عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ به‌صورت انتخابی در محیط خورنده حل می‌شود. مثلاً چنانچه یک قطعه چدنی یا برنجی برای مدت نسبتاً طولانی در محیط خورنده مثل محلول اسیدی قرار گیرد؛ در مورد آلیاژ برنج عنصر روی و در خصوص آلیاژ چدن عنصر آهن به‌دلیل این‌که بر اساس نمودار (۳ــ۷) تمایل بیشتری به اکسید شدن دارند حل می‌شوند و پس از مدتی سطح قطعات مذکور به‌صورت متخلخل در می‌آیند که رنگ ظاهری سطح نیز به‌رنگ عنصر باقی‌مانده بر روی سطح متمایل می‌شود.



شکل ۲۰ــ۷ــ قطعات چدنی و برنجی دچار خوردگی انتخابی شده‌اند و سطح آنها متخلخل گردیده است.

۳ــ۳ــ۷ــ خوردگی مکانیکی : در اینجا پدیده‌خوردگی تحت تأثیر نیروهای مکانیکی اتفاق می‌افتد. البته ممکن است عامل مکانیکی به تنهایی سبب تخریب و شکست ماده صنعتی گردد. مثل : سایش و یا عوامل دیگر نظیر واکنش الکتروشیمیایی نیز به‌صورت توأم دخیل باشند. مثل : خوردگی فرسایشی.

سایش یکی از عوامل رایج تخریب‌کننده قطعات صنعتی است و زمانی اتفاق می‌افتد که دو سطح در تماس با یکدیگر تحت تأثیر نیروی مکانیکی نسبت به هم حرکت لغزشی داشته باشند.

یک مورد متداول پدیده سایش روی سطح غلتک‌های نورد اتفاق می‌افتد. آن‌طورکه در شکل (۲۱ــ۷) ملاحظه می‌کنید سطح غلتک‌های دستگاه نورد به‌دلیل نیروی مکانیکی زیادی که به آنها وارد می‌شود به مرور زمان دچار سایش می‌شوند و باید تعمیرگردند. به‌طور معمول هر چه نیروی اعمالی افزایش یابد و یا اختلاف سختی دو سطح در حال تماس با یکدیگر بیشتر باشد مقدار سایش افزایش می‌یابد. هم‌چنین افزایش دمای کاری و افزایش حرکت نسبی دو سطح نسبت به یکدیگر میزان سایش را به‌طور معمول زیاد می‌کند.

شکل ۲۱ــ۷ــ سطح غلتک‌های دستگاه نورد به‌دلیل نیروی مکانیکی دچار سایش می‌شود.

نوع دیگری از خوردگی که تحت تأثیر هم‌زمان نیروی مکانیکی(برخورد ذرات ساینده) و خوردگی الکتروشیمیایی رخ می‌دهد، خوردگی فرسایشی[۱]نام دارد. شکل‌های (۲۲ــ۷ و ۲۳ــ۷)

۱ــ Errotion

تصاویر دو قطعه صنعتی را نشان می‌دهند که دچار خوردگی فرسایشی شده‌اند. این نوع خوردگی زمانی اتفاق می‌افتد که در داخل محلول خورنده ذرات ساینده(مثل شن و ماسه) وجود داشته باشد.

شکل ۲۲ــ۷ــ پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است.

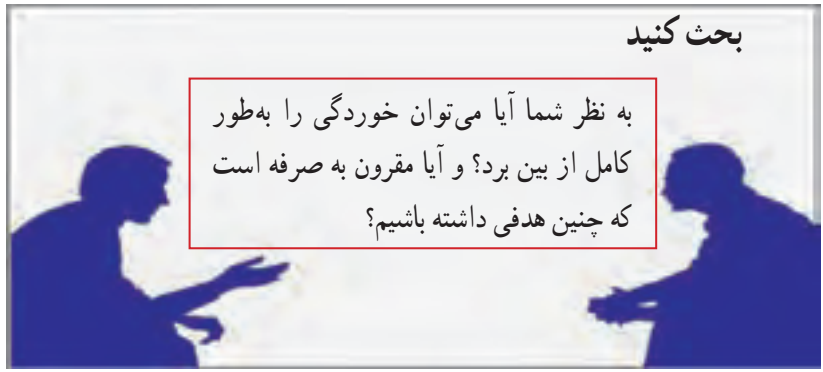
به شکل (۲۳ــ۷) نگاه کنید.

پره پمپ آب به‌دلیل وجود ذرات شن در محلول خورنده تخریب شده است. در این مثال ضمن اینکه پره فولادی در محلول خورنده قرار داشته، حضور ذرات ماسه در محلول و برخورد آنها به سطح پره پمپ باعث تشدید پدیده خوردگی گردیده است.

شکل ۲۳ــ۷ــ پره پمپ به‌دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است.

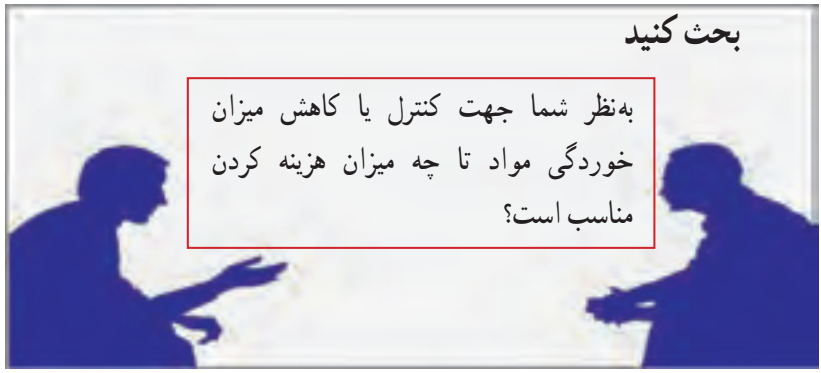
۴ــ۷ــ روش‌های کنترل خوردگی و حفاظت مواد

به منظور کاهش اثرات ناشی از خوردگی و حفاظت از مواد اقدامات مختلفی را می‌توان انجام داد، که راهکارهای اصلی در نمودار (۴ــ۷) آمده است. لازم به یادآوری است که انتخاب نوع روش اجرایی علاوه بر مسائل فنی، مشروط به اقتصادی بودن راهکار مورد نظر است.



در حالت کلی جهت کاهش میزان خوردگی و حفاظت مواد در برابر این پدیده مخرب چهار راهکار اساسی وجود دارد. به طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه به‌صورت مختصر به معرفی این روش‌ها می‌پردازیم.

نمودار ۴ــ۷ــ روش‌های اصلی کنترل خوردگی و حفاظت مواد



۱ــ۴ــ۷ــ طراحی و انتخاب مواد

مناسب: در موقع طراحی سازه‌های صنعتی طراحان باید پیش بینی مسائل مربوط به خوردگی را در نظر بگیرند و تا حد ممکن سعی کنند عوامل مؤثر در خوردگی را کاهش داده و یا شرایط ایجاد آن را از بین ببرند.

به‌عنوان مثال: مطابق شکل (۲۴ــ۷) یک راکتور شیمیایی و یا مخزن تحت فشار را در نظر بگیرید.

شکل ۲۴ــ۷ــ مخزن تحت فشار که ممکن است برای انجام فعل و انفعال شیمیایی در دمای بالا به‌کارگرفته شود.

موارد مهمی که طراح باید در موقع طراحی سازه فلزی در نظر بگیرد عبارت است از:

۱ــ نوع، میزان و چگونگی اعمال نیروهای مکانیکی را در نظر بگیرد(محاسبه نماید) و متناسب با آن مواد قابل استفاده را مشخص نماید.

۲ــ با در نظر گرفتن مواد شیمیایی داخل آن و شرایط‌کاری نظیر: دما و فشار از میان مواد مشخص شده گزینه‌های مناسب را از نظر خوردگی معین کند.

۳ــ با توجه به الزامات دیگر طراحی نظیر: شرایط ورودی و خروجی مواد شیمیایی، فرآیند ساخت و تولید سازه، و هزینه‌ها، ماده بهینه را انتخاب نماید.

۴ــ پس از انتخاب ماده مناسب موارد دیگری نیز وجود دارد که طراح باید در طراحی سازه

اصلی و متعلقات جانبی آن از نظر شکل و محل اتصالات در نظر بگیرد :

- تا حد ممکن میزان تنش‌ها و نقاط تمرکز تنش کاهش یابد.
- از تشکیل محل‌های ساکن برای محلول جلوگیری شود.
- از شرایط ایجاد تغییر ناگهانی در سرعت سیال و تشکیل تلاطم شدید پرهیز نماید.

۵ــ از به‌کار بردن دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم در محیط خورنده پرهیز کند و در صورتی‌که لازم است دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم، داخل الکترولیت مشترک قرار گیرند سعی کنند :

- دو فلز، با توجه به نمودار پتانسیل الکتروشیمیایی نزدیک به هم انتخاب شوند.
- فلز فعال‌تر دارای سطح بزرگتر باشد؛ تا از تمرکز خوردگی جلوگیری شود.
- در صورت امکان با استفاده از واشر یا صفحات پلاستیکی بین مواد متفاوت عایق الکتریکی ایجاد کند. شکل(۲۵ــ۷) نمونه از خوردگی به‌دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ــ۷ــ اتصالات خط لوله محتوی سیال خورنده به‌دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت دچار خوردگی شدید شده است.

۲ــ۴ــ۷ــ تغییر شرایط محیط خورنده :

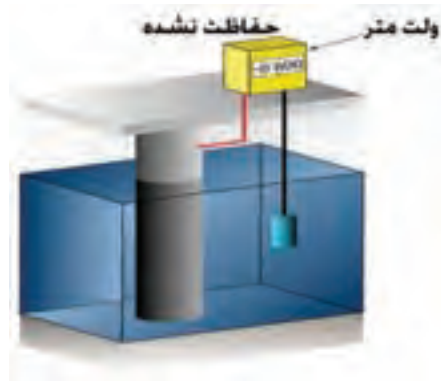
یکی دیگر از راهکارهای کاهش میزان خوردگی و حفاظت از مواد، تغییر در شرایط محیط خورنده است. برای این منظور می‌توان اقدامات زیر را انجام داد :

۱ــ حذف یا کاهش عوامل خورنده از طریق فیلترکردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل : فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی(شکل ۲۶ــ۷).

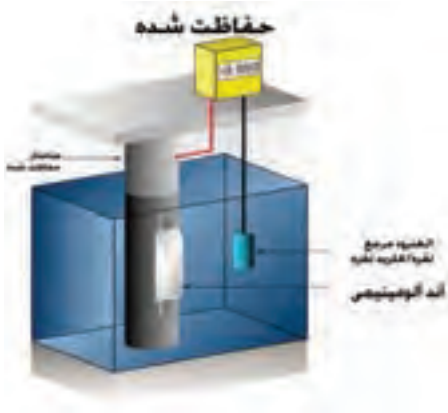
شکل ۲۶ــ۷ــ گازهای خروجی از دودکش در خوردگی تجهیزات اطراف واحد صنعتی مؤثر است.

۲ــ راهکار دیگر اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خورنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیه آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل : نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد که به‌منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خورنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.

۳ــ۴ــ۷ــ تغییر پتانسیل سازه فلزی : این کار به دو صورت امکان‌پذیر است؛ یکی از طریق اتصال سازه اصلی به فلز فعال‌تر که در شکل (۲۷ــ۷) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. روش دیگر اعمال جریان برق مستقیم به منظور کاهش تمایل به از دست دادن الکترون توسط سازه مورد نظرمی‌باشد که در شکل (۲۷ــ۷ قسمت C) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC) برای حفاظت سازه مدفون در خاک و در قسمت (b) نمایش شماتیک فرآیند این روش حفاظتی نشان داده شده است. لازم به ذکر است این تکنیک‌ها به‌عنوان روش‌های حفاظت کاتدی معروف می‌باشند.



a) سازه حفاظت نشده



b) سازه حفاظت شده با آند آلومینیومی

c) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC)

شکل ۲۷ــ۷ــ حفاظت کاتدی سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده آلومینیومی

همان‌طور که در شکل (۲۷ــ۷) ملاحظه می‌شود با اتصال قطعه آلومینیومی دارای پتانسیل منفی‌تر نسبت به فولاد، سبب کاهش پتانسیل الکتروشیمیایی سازه فولادی و در نتیجه کاهش تمایل آن به اکسید شدن(خوردگی) می‌شود. در این روش قطعه آلومینیومی با فدا کردن خود باعث کاهش میزان خوردگی سازه فولادی می‌گردد. در شکل (۲۸ــ۷) بخشی از یک سکوی دریایی که بر اساس این روش تحت حفاظت قرار گرفته نشان داده شده است.

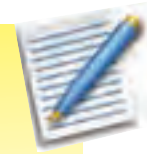
شکل ۲۸ــ۷ــ سکوی دریایی که آندهای آلومینیومی جهت حفاظت کاتدی به آن متصل شده است.

لازم به یادآوری است استفاده از سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های فلزی مدفون در خاک مثل : مخازن و خطوط لوله به‌عنوان سیستم مکمل پوشش کاربرد گسترده‌ای دارد که در شکل (۲۹ــ۷) هر دو روش حفاظت کاتدی به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

شکل ۲۹ــ۷ــ سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های مدفون در خاک(bــ حفاظت مخزن از طریق اعمال جریان مستقیم (DC)
aــ حفاظت خطوط لوله از طریق کار گذاشتن آند جداشونده منیزیمی در مجاورت آن

۴ــ۴ــ۷ــ استفاده از پوشش‌های محافظ : یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در سازه‌های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می‌باشد. به‌طورکلی صرف نظر از این‌که پوشش‌ها ماهیت پلیمری، سرامیکی، فلزی و یا کامپوزیتی داشته باشند، به‌عنوان سدی در برابر حمله عوامل خورنده به سطح سازه صنعتی عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند. در جدول(۲ــ۷) ضمن معرفی انواع متداول و پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال آنها بر روی سطح و نمونه‌هایی از کاربرد آنها در صنعت آورده شده است.

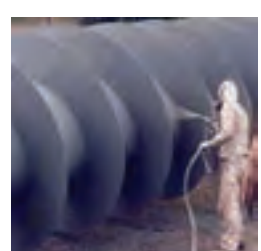
لازم به یادآوری است عملکرد پوشش نسبت به شرایط سطح سازه و تمیز بودن آن قبل از اعمال پوشش بسیار حساس می‌باشد، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هر گونه آلودگی مثل : پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز گردند. هم‌چنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به‌طور کامل روی سطح سازه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.



توجه

تجربه نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد موفقیت یا اثربخش بودن پوشش بستگی به تمیز بودن و شرایط سطح سازه قبل از اعمال پوشش دارد.

جدول ۲ــ۷ــ انواع پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال و نمونه کاربرد آنها در صنعت

ردیف	نوع پوشش	ماهیت پوشش	روش‌های متداول اعمال پوشش	تصویر سازه‌های صنعتی
۱	پلیمری	این پوشش‌ها ازمواد پلیمری می‌باشند و عمدتاً به‌منظور محافظت سازه‌های فلزی در محیط اتمسفری استفاده می‌شوند : نظیر اپوکسی، پلی اورتان، پلی استر و غیره	۱ــ پاشش ۲ــ غوطه وری ۳ــ ابزار دستی	
۲	فلزی	این پوشش‌ها ماهیت فلزی دارند و دو دسته‌اند ۱ــ پوشش تک عنصری که از یک عنصر فلزی تشکیل شده‌اند مثل پوشش گالوانیزه، قلع، طلا، نقره، کرم و غیره. ۲ــ پوشش‌های آلیاژی که پوشش از ترکیب دو یا چند عنصر فلزی تشکیل شده است	۱ــ پاشش ۲ــ غوطه وری ۳ــ آبکاری	
۳	سرامیکی	این پوشش‌ها ماهیت معدنی (غیرفلزی و غیر پلیمری) دارند مثل انواع لعاب‌ها که روی ظروف سفالی یا فلزی اعمال می‌شوند.	۱ــ پاشش ۲ــ غوطه وری	

آزمون پایانی

۱ــ کدام‌یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی است؟

الف) زنگ زدن بدنه کولر آبی

ب) تخریب یک مجسمه سنگی به‌دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران

ج) سوراخ شدن لوله‌های آب شهری

د) همه موارد

۲ــ کدام‌یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی الکتروشیمیایی است؟

الف) ترک خوردن لوله پلاستیکی به‌دلیل قرارگرفتن در معرض نور خورشید

ب) متورم شدن ظرف پلاستیکی محتوی محلول اسید

ج) سوراخ شدن بدنه یک تانک فلزی محتوی اسید سولفوریک

د) پاره شدن سیم بکسل به‌دلیل وارد کردن نیروی زیاد

۳ــ زمان لازم برای تجزیه کدام‌یک از مواد زیر در طبیعت بیشتر است؟

الف) فولاد کربنی ب) لاستیک ج) چوب د) مس

۴ــ مکانیزم‌های اصلی ایجاد خوردگی را نام ببرید؟ (سه عامل)

۵ــ فلزات بیشتر دچار چه نوع خوردگی می شوند؟

الف) الکتروشیمیایی ب)شیمیایی

ج) مکانیکی د) شیمیایی و مکانیکی به‌صورت همزمان

۶ــ اجزاء اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی را نام ببرید؟

۷ــ برای اتصال دو صفحه فولاد کربنی استفاده از میخ پرچ‌های از جنس کدام فلز مناسب‌تر است؟چرا؟

الف) مس ب) روی ج) قلع د) آلومینیومی

۸ــ راه‌های کنترل خوردگی و حفاظت از مواد را نام ببرید؟ (چهار مورد)

۹ــ سه دسته اصلی پوشش‌های محافظ رانام ببرید؟

۱۰ــ سه روش اصلی اعمال پوشش‌های محافظ را نام ببرید؟

۱۱ــ پتانسیل الکتروشیمیایی یک سازه فلزی تحت حفاظت کاتدی نسبت به شرایط بدون حفاظت چگونه است؟

الف) مثبت‌تر است ب)منفی‌تر است

ج) فرق نمی‌کند　　د) بستگی به جنس سازه دارد

۱۲ــ برای حفاظت یک سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده، کدامیک از مواد زیر مناسب نمی باشد؟

الف) روی　　ب) آلومینیوم　　ج) منیزیم　　د) فولاد زنگ نزن

۱۳ــ به‌نظر شما با افزایش آلودگی هوا سرعت خوردگی .....

الف) افزایش می‌یابد　　ب) کاهش می‌یابد

ج) تغییر نمی‌کند　　د)بستگی به دمای محیط دارد

۱۴ــ به‌نظر شما سرعت خورده شدن یک سازه فولادی در کدام‌یک از شرایط آب و هوایی زیر بیشتر است؟

الف) گرم و مرطوب　　ب)سرد و خشک

ج) سرد و مرطوب　　د)معتدل و نیمه خشک

۱۵ــ طراح یک سازه فلزی از نظر خوردگی به چه نکاتی بایستی توجه کند؟ (چهار مورد)

۱۶ــ برای جوشکاری یک سازه فلزی از نظر خوردگی جنس الکترود بهتر است چگونه باشد؟

الف) هم جنس با جنس فلز اصلی باشد.

ب) از جنس فعال‌تر نسبت به فلز اصلی باشد.

ج) از جنس نجیب‌تر نسبت به فلز اصلی باشد.

د) فرق نمی‌کند.

۱۷ــ دلیل زنگ نزدن فولاد زنگ نزن ناشی از وجود عنصر ..... در فولاد است.

الف) کروم　　ب) کربن　　ج) مس　　د) آلومینیوم

۱۸ــ پوشش‌های محافظ چگونه باعث حفاظت از مواد می‌شوند؟

۱۹ــ مکانیزم خوردگی را در حالت‌های زیر بنویسید؟

الف) لوله پلاستیکی که دچار ترک خوردگی شده است.

ب) سطح ستون فولادی که در شرایط اتمسفری زنگ زده است.

ج) پروانه پمپ آب که در معرض محلول حاوی ذرات ساینده (ماسه) تخریب شده است.

فصل هشتم

فرآیندهای تولید

هدف رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی را نام ببرد.

۲ــ روش‌های مختلف و متداول ریخته‌گری را نام ببرد.

۳ــ مزایا و کاربرد روش‌های ریخته‌گری را نام ببرد.

۴ــ روش آهنگری (فورج) را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان کند.

۵ــ روش نورد را شرح دهد و موارد کاربرد آن را در صنعت ذکر کند.

۶ــ روش اکستروژن را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان نماید.

۷ــ روش متالورژی پودر را شرح دهد و موارد کاربرد صنعتی آن را بیان نماید.

۱ــ۸ــ مقدمه

وسایلی که در محیط زندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند، حاصل انجام یکسری اقدامات کارگاهی با استفاده از ابزار و دستگاه‌های مختلف و صرف هزینه و زمان بر روی مواد اولیه یا مصنوعات نیم‌ساخته می‌باشد. مثل ریخته‌گری، جوشکاری، نورد، ماشین‌کاری، آهنگری و غیره که ما آنها را به‌نام روش‌های مختلف ساخت و تولید قطعات و سازه‌های صنعتی می‌شناسیم و شما با برخی از این روش‌ها در سال‌های قبل یا درس‌های دیگر آشنا شده‌اید. در این فصل با بعضی از روش‌ها مثل : ریخته‌گری ، شکل دهی فلزات در حالت جامد و متالورژی پودر آشنا می‌شوید.

۲ــ۸ــ ریخته‌گری

ریختن مذاب فلزات و آلیاژها در محفظه‌ای به نام قالب با هدف تولید قطعه ای با شکل مشخص را ریخته‌گری می‌گویند. این روش قدیمی‌ترین فرآیند شناخته شده برای تولید قطعات صنعتی است. شکل (۱ــ۸) کوره ذوب یک واحد کوچک ریخته‌گری را نشان می‌دهد. در حال حاضر نیز از بهترین روش‌های ساخت و تولید قطعات صنعتی بشمار می‌رود، به‌طوری‌که هنوز هم بیش از ۵۰ درصد قطعات انواع ماشین‌آلات صنعتی با این روش تهیه می‌شوند. فلزاتی که نمی‌توان آن‌ها را به‌راحتی از روش‌های دیگر شکل‌دهی ساخت، یا چکش‌خواری کمی‌دارند و نیز قطعاتی که دارای شکل‌های پیچیده هستند به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند. به‌طور کلی در فرآیند ریخته‌گری ابتدا مدلی از قطعه مورد نظر تهیه شده و سپس بر اساس مدل قالب ساخته می‌شود. در مرحله بعدی مذاب‌ریزی درون قالب انجام می‌شود و در انتهای کار در صورت نیاز قطعه پلیسه‌گیری و پرداخت نهایی می‌شود. در جدول (۱ــ۸) انواع متداول و پرکاربرد روش‌های قالب‌گیری را ملاحظه کنید و در ادامه برخی از آنها شرح داده خواهند شد.

به عقیده صنعتگران، ریخته‌گری هم علم است، هم فن و هم هنر

شکل ۱ــ۸ــ کوره ذوب و فولادسازی در یک واحد ریخته‌گری کوچک

جدول ۱ــ۸ــ انواع متداول روش‌های قالب‌گیری و موارد کاربرد آنها

روش قالب‌گیری	توضیح	نمونه کاربرد صنعتی
قالب ماسه‌ای	قالب‌های یکبار مصرف از ماسه ساخته می‌شوند. هزینه پایین، قابلیت ریخته‌گری وسیع فلزات در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف از ویژگی‌های آن است.	سرسیلندر، بدنه موتور
قالب پوسته‌ای	از قالب‌های سرامیکی با ضخامت کم استفاده می‌شود، دقت، نرخ تولید بالا و کیفیت سطح بهتر از ویژگی‌های آن است.	میله‌های اتصال، جعبه دنده
قالب سرامیکی	از قالب ماسه ای که با دمش گاز دی اکسید کربن سخت می‌شود استفاده می‌گردد.	پروانه، قالب تزریق مواد پلیمری
ریخته‌گری دقیق	قالب با دقت ابعادی بالا تهیه می‌شود و برای قطعات کوچک و گران قیمت مناسب است.	جواهرات
قالب دائمی	قالب از جنس فلز ساخته می‌شود و تعداد زیادی قطعه با استفاده از یک قالب ساخته می‌شود. کیفیت سطح خوب و نرخ تولید بالا است ولی قالب آن گران قیمت است.	چرخ دنده وجعبه‌دنده
تحت فشار	مذاب با فشار به داخل قالب فلزی تزریق می‌شود. دقت ابعادی عالی و نرخ تولید بالا از ویژگی‌های آن است.	رینگ اتومبیل، و چرخ‌دنده‌های دقیق

۳ــ۸ــ روش‌های مهم ریخته‌گری

۱ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری ماسه‌ای : پرکاربردترین قالب‌های یک بارمصرف، قالب‌های ماسه‌ای هستند که در آن قالب ساخته شده پس از انجماد مذاب شکسته می‌شود. در این نوع ریخته‌گری ابتدا مدل چوبی یا پلاستیکی بر اساس شکل محصول به‌طور معمول به‌صورت دوتکه ساخته می‌شود. شکل (۲ــ۸) نمونه‌ای از مدل چوبی ریخته‌گری پولی پروانه را نشان می‌دهد.

شکل ۲ــ۸ــ تهیه مدل ریخته‌گری ماسه‌ای

شکل ۳ــ ۸ــ درجه در ریخته‌گری ماسه‌ای

سپس مدل را در قالب نگه‌دارنده فلزی که دو تکه است قرار می‌دهند. هر یک از دو قسمت جداشدنی قالب را «درجه» می‌نامند. شکل (۳ــ۸) یک جفت درجه را نشان می‌دهد.

شکل ۴ــ۸ــ فرآیند قالب‌گیری ماسه‌ای

درجه بالایی را بر روی میز کار قرار می‌دهند، قسمت بالایی مدل را در داخل آن می‌گذارند و با کوبیدن ماسه درون قالب (شامل ماسه، آب، خاک رس و نوعی چسب) آن‌را پر می‌کنند. شکل (۴ــ۸) نمونه قالب ماسه‌ای پولی پروانه را نشان می‌دهد.

شکل ۵ــ۸ــ ماهیچه گذاری درقالب ریخته‌گری

بسیاری از قطعات ریخته‌گری توخالی هستند و یا حفره‌های موجود در آنها قابل دسترس نیستند. این سطوح درونی با قرار دادن ماهیچه داخل قالب شکل می‌گیرد. شکل (۵ــ۸) نمونه دو ماهیچه استوانه‌ای را نشان می‌دهد.

یادآوری می‌شود گذاشتن تکه چوبی به‌صورت شیب‌دار برای ایجاد راهگاه مناسب درون قالب و نیز تعبیه تغذیه‌کننده برای جبران کمبود ماده مذاب به‌دلیل انقباض مذاب در درون قالب ضروری است.

پس از خارج کردن مدل از قالب و کار گذاشتن راهگاه، دو نیمه قالب بر روی هم قرار گرفته و مذاب را درون آن می‌ریزند. پس از سرد شدن مذاب، قالب را شکسته و قطعه را خارج می‌کنند. شکل (۶ــ۸) زمان مذاب‌ریزی داخل قالب را نشان می‌دهد.

شکل ۶ــ۸ــ عملیات مذاب‌ریزی

پس از خروج قطعه از قالب لازم است، فلز اضافی و لوله‌های تغذیه مذاب بریده شوند. هم‌چنین سطوح مهم ماشین کاری شوند تا سطحی پرداخت شده و دقیق حاصل گردد. شکل (۷ــ۸) پرداخت‌کاری نهایی پولی ریخته‌گری شده را نشان می‌دهد.

شکل ۷ــ۸ــ پرداخت کاری سطحی

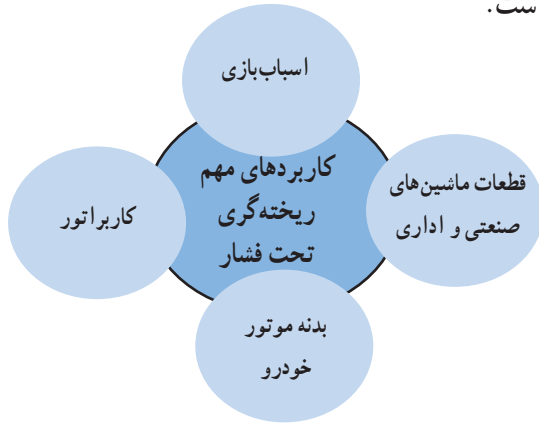
۲ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری در قالب فلزی :

مانند ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای است، با این تفاوت که قالب‌ها در این روش فلزی هستند و از آنها برای مدت طولانی استفاده می‌شود. قالب‌ها به‌طور معمول دو تکه ساخته می‌شوند و به وسیله گیره یا پیچ و غیره به‌هم متصل می‌شوند. (شکل ۸ــ۸)

شکل ۸ــ۸ــ قالب فلزی ریخته‌گری (قالب تولید سرسیلندر در کارخانه ایران خودرو)

۳ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری تحت فشار (دایکاست)[۱] :در ریخته‌گری تحت فشار مواد مذاب تحت فشار به‌داخل قالب تزریق می‌شوند (بر خلاف روش‌های دیگر که مذاب تحت نیروی وزن خود قالب را پر می‌کند). شکل (۹ــ ۸) یک نمونه از تجهیزات این نوع ریخته‌گری را نشان می‌دهد. تولید قطعات بدون حفره به‌علت تحت فشار بودن مذاب در درون قالب از مزیت‌های این روش است. بیشتر قطعات آلومینیومی‌به روش دایکاست ریخته‌گری می‌شوند. در نمودار (۱ــ۸) موارد پرکاربرد این روش ریخته‌گری و در شکل (۱۰ــ۸)چند نمونه صنعتی ریخته‌گری شده به این روش نشان داده شده است.

شکل ۹ــ۸ــ تجهیزات ریخته‌گری تحت فشار



نمودار ۱ــ۸ــ کاربرد ریخته‌گری تحت فشار

شکل ۱۰ــ۸ــ چند نمونه از قطعات ریخته‌گری شده به روش دایکاست پیوسته

۱ــ Day cast

۴ــ۳ــ۸ــ ریخته‌گری پیوسته : در این روش فلز مذاب به‌وسیله پاتیل[1] به محل دستگاه ریخته‌گری پیوسته حمل می‌شود، سپس مذاب به داخل ظرف نگهدارنده مذاب ریخته می‌شود و به‌تدریج وارد محفظه انجماد می‌شود. ظرف نگهدارنده مذاب از جنس مس ساخته شده و مرتباً با سیستم آبگرد سرد می‌شود. فلز مذاب پس از ورود به محفظه انجماد و سرد شدن به‌شکل جامد از آن خارج می‌شود و توسط جریان آب یا هوا خنک می‌شود. وقتی که طول نیم ساخته منجمد شده به حد معینی برسد به‌وسیلهٔ ابزار برش (مکانیکی یا حرارتی) برش داده می‌شود. در شکل (۱۱ــ۸) تخلیه مذاب از پاتیل ذوب‌ریزی را در فرآیند ریخته‌گری پیوسته نشان می‌دهد و شکل (۱۲ــ۸) انجام برش گرم تحتال‌های گداخته تولید شده به‌وسیله عملیات ریخته‌گری پیوسته را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ــ۸ــ تخلیه مذاب یا مذاب‌ریزی از درون پاتیل حمل مذاب در ابتدای خط ریخته‌گری پیوسته.

شکل ۱۲ــ۸ــ برش حرارتی نیم‌ساخته‌های ریخته‌گری شده در حالت گداخته در فرآیند ریخته‌گری پیوسته

۴ــ۸ــ ریخته‌گری چدن

با توجه به این‌که چدن از قابلیت ریخته‌گری خوب و چکش‌خواری بدی برخوردار است لذا به‌طور معمول از روش ریخته‌گری برای تولید قطعات چدنی استفاده می‌کنند. قالب‌گیری قطعات کوچک در داخل درجه و قطعات بزرگ در زمین انجام می‌شود. پس از تهیه قالب، چدن مذاب را از طریق راهگاه به داخل قالب می‌ریزند و پس از سرد شدن و انجماد، قطعه مورد نظر را از قالب خارج می‌کنند. اندازه مدل بایستی به اندازه انقباضی که فلز در هنگام سرد شدن پیدا می‌کند (چدن خاکستری ۱درصد) بزرگتر از قطعه اصلی در نظر گرفته شود. هم‌چنین برای ایجاد فضای خالی در قسمت‌هایی از قطعه مورد نظر می‌توان از ماهیچه استفاده کرد که در این موارد باید روی مدل زائده‌ای برای تکیه‌گاه ماهیچه در نظر گرفت. شکل (۱۳ــ۸) تخلیه مذاب چدن از کوره یک کارگاه تولید قطعات چدنی را نشان می‌دهد.

۱ــ پاتیل : ظرف فلزی بزرگی است که برای حمل مذاب استفاده می‌شود.

شکل ۱۳ــ۸

۵ــ۸ــ ریخته‌گری فولاد

ریخته‌گری برای تولید قطعات فولادی در مقایسه با قطعات چدنی کاربرد کمتری دارد. ولی برخی از قطعات صنعتی که فرم پیچیده‌ای دارند و یا لازم است نیروی زیادی را تحمل کنند از فولادهای ریختگی ساخته می‌شوند.

شکل ۱۴ــ۸ــ عملیات ذوب‌ریزی از پاتیل حمل مذاب

ریخته‌گری فولادها نیز مشابه چدن‌ها است، با این تفاوت که اگر از روش ریخته‌گری در ماسه استفاده می‌شود، باید ماسه‌ای به‌کار رود که دیرگدازتر باشد (دمای مذاب فولاد بیشتر از چدن است). از تفاوت‌های دیگر انقباض بیشتر مذاب فولاد (حدود ۲ درصد) نسبت به چدن است. از این روش برای تهیه قطعاتی مانند: بدنه توربین، جرثقیل و غیره استفاده می‌شود. شکل (۱۴ــ۸) تخلیه مذاب فولاد را از پاتیل مذاب‌ریزی نشان می‌دهد.

۶ــ۸ــ شکل‌دهی فلزات در حالت جامد

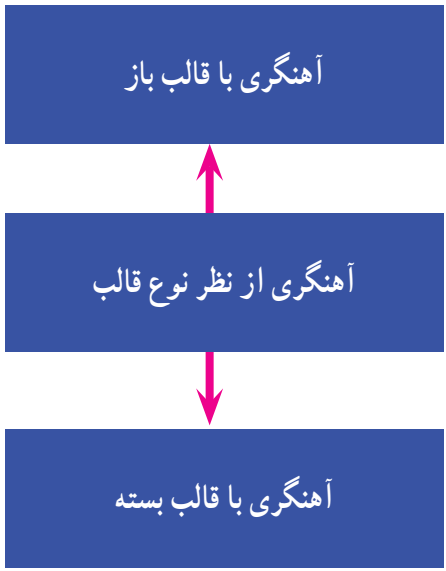
یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در تولید قطعات صنعتی فرآیند شکل‌دهی در حالت جامد است که به روش‌های مختلف انجام می‌شود. در این روش‌ها نیرو عامل اصلی شکل‌دهی است و از حرارت نیز می‌توان به‌عنوان عامل کمکی بهره برد. آهنگری، نورد و اکستروژن از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شکل‌دهی فلزات در حالت جامد هستند.

۱ــ۶ــ۸ــ آهنگری[۱] : آهنگری یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شکل دادن فلزات می‌باشد. در دوران گذشته آهنگران فلز مورد نظرشان را تا حد لازم گداخته می‌کردند، بعد با یک انبر آن را بر روی سندان نگه می‌داشتند و چکش کاری می‌کردند تا شکل مورد نظر را پیدا کند. شکل (۱۵ــ۸) روش آهنگری سنتی را نمایش می‌دهد.

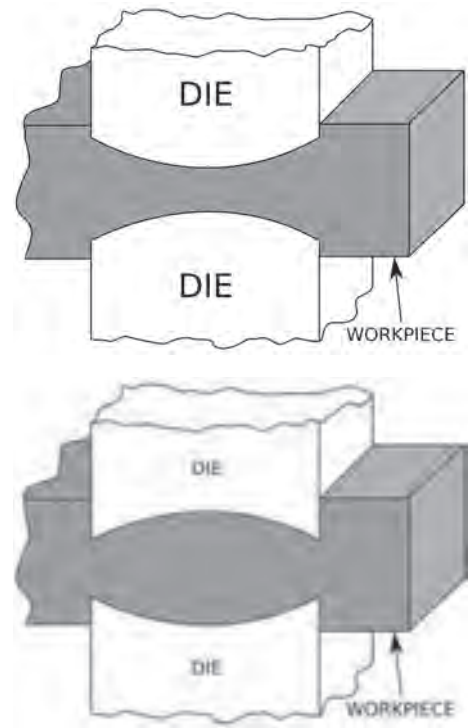
شکل ۱۵ــ۸ــ آهنگری به روش سنتی

امروزه نیز فلز نیم‌ساخته را که به لقمه معروف است، گداخته (گرم می‌کنند) و در قالب یا سندان قرارداده و با اعمال نیرو به شکل قالب در می‌آورند. شکل (۱۶ــ۸) دو نمونه از قالب‌های مورد استفاده در این فرآیند شکل‌دهی فلزات را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. نیرو را می‌توان به آرامی(با پرس هیدرولیک) و یا به‌صورت ضربه‌ای (با پتک مکانیکی) اعمال کرد. نمودار (۲ــ۸) دسته‌بندی عملیات آهنگری را از لحاظ نوع قالب نشان می‌دهد و در شکل (۱۷ــ۸) فرآیند آهنگری را در یک واحد بزرگ صنعتی نشان می‌دهد.

۱ــ Forging



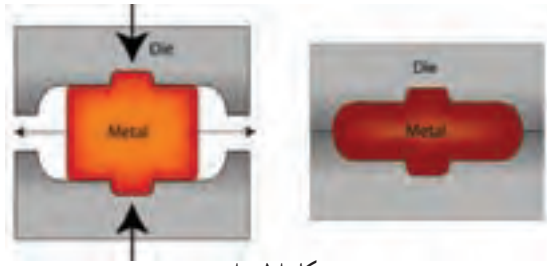
نمودار ۲ــ۸ــ تقسیم‌بندی عملیات آهنگری



شکل ۱۶ــ۸ــ دو نوع قالب فرآیند شکل‌دهی به روش آهنگری

شکل ۱۷ــ۸ــ تولید قطعات فولادی به روش آهنگری در یک واحد بزرگ صنعتی

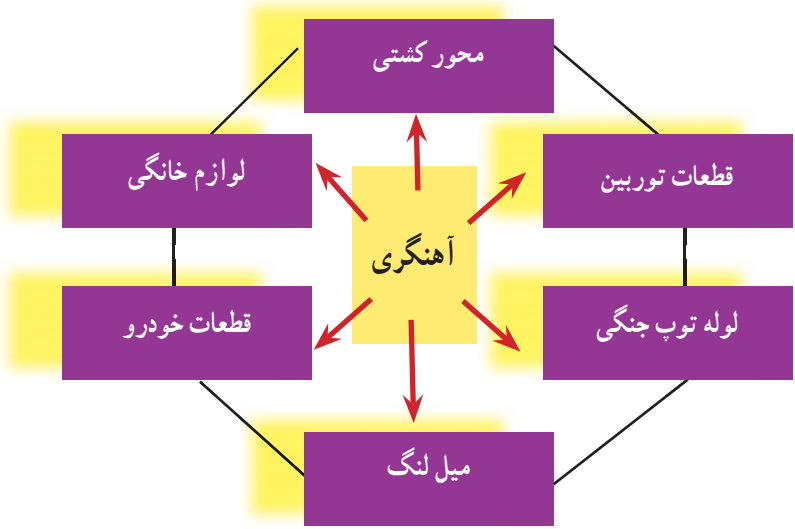
آهنگری در قالب باز معمولاً برای شکل‌های ساده و با دقت ابعادی کم استفاده می‌شود. در این روش سنبه توسط دستگاه پرس به لقمه‌ای که درون قالب قرار دارد برخورد کرده و با کاستن از ارتفاع آن طول و عرض قطعه را تا مقدار معینی افزایش می‌دهد. در آهنگری به روش قالب بسته که در شکل (۱۸ــ۸) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است و برای شکل‌های پیچیده مناسب است، لقمه درون نیمه پایینی قالب قرار گرفته و نیمه بالایی قالب توسط پرس بر روی لقمه فشار وارد می‌کند. به این ترتیب لقمه به شکل محفظه داخل قالب درمی‌آید. شکل (۱۹ــ۸) تصویر دیگری از عملیات آهنگری به روش قالب باز را برای تولید قطعات صنعتی نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ــ۸

شکل ۱۹ــ۸ــ عملیات آهنگری به روش قالب باز برای تولید قطعات صنعتی

سکه و آچار فرانسه دو نمونه از قطعات تولید شده به روش آهنگری هستند. نمودار (۳ــ۸) کاربردهای مختلف قطعات آهنگری شده را در بخش‌های مختلف صنعتی نشان می‌دهد. در شکل (۲۰ــ۸) تعدادی از قطعات کوچک صنعتی که به‌وسیله روش آهنگری تولید شده‌اند نشان داده شده است.

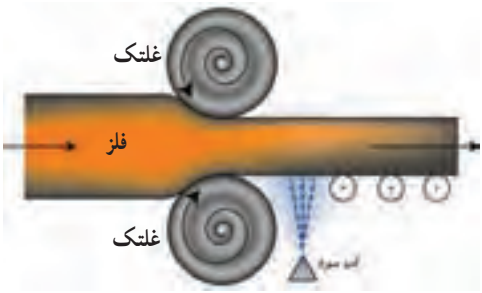


نمودار ۳ــ۸ــ کاربرد روش آهنگری در تولید قطعات صنعتی

شکل ۲۰ــ۸ــ برخی از قطعات صنعتی که به روش آهنگری تولید شده‌اند.

از مزایای روش آهنگری می‌توان به کم بودن ضایعات اشاره کرد و از معایب آن می‌توان کیفیت سطحی نه‌چندان بالا را نام برد. لازم به یادآوری است، تمامی فلزات را نمی‌توان به روش آهنگری شکل داد، زیرا برخی فلزات ترد و شکننده هستند (مثل چدن‌ها)، حتی زمانی‌که به آن‌ها حرارت داده شود.

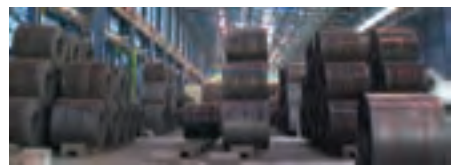
۲ــ۶ــ۸ــ نورد[1] : در این روش تغییر شکل بر اثر عبور قطعه فلزی از میان دو غلتک ایجاد می‌شود (شکل۲۱ــ۸). درفرآیند نورد به دلیل نیروهای فشاری، ضخامت قطعه کاهش یافته، طول و پهنای آن اضافه می‌شود. شکل (۲۲ــ۸) خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۸ــ نمایش فرآیند نورد

شکل ۲۲ــ۸ــ خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان

یادآوری می‌شود قسمت اعظم فلزات و آلیاژها در کارخانه‌های تولید مواد فلزی به‌صورت شمش یا نیم ساخته تولید می‌شوند و سپس در کارگاه‌های صنعتی توسط دستگاه‌های نورد به ورق، تیرآهن، تسمه، ریل ، نبشی و غیره تبدیل می‌شوند. شکل(۲۳ــ۸) چند نمونه از محصولات صنعتی تولید شده به روش نورد را نشان می‌دهد.

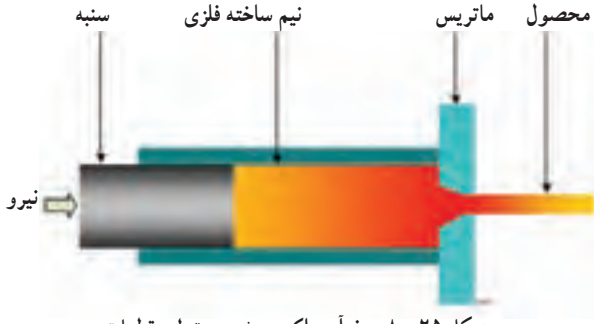


شکل ۲۳ــ۸ــ بعضی از محصولات فولادی تولید شده به‌وسیله عملیات نورد

۱ــ Rolling

۳ــ۶ــ۸ــ اکستروژن[1] : عبارت است از عبور دادن فلز گداخته نیم ساخته فلزی از روزنه یک قالب توسط اعمال نیرو برای تولید مقطعی با شکل دلخواه شکل(۲۴ــ۸). برای این منظور ابتدا ماتریسی[2] به فرم مقطع شمش مورد نظر تهیه و در پیشانی سیلندر پرس نصب می‌کنند. سپس فلز گداخته‌ای را که هم قطر محفظه پرس هیدرولیک است به پودر شیشه آغشته می‌کنند و در داخل محفظه قرار می‌دهند. سمبه پرس هیدرولیک از پشت به فلز گداخته فشار وارد می‌کند و آن را از داخل روزنه ماتریس به بیرون می‌راند. شکل (۲۵ــ۸) این عملیات را نشان می‌دهد. استفاده از پودر شیشه باعث کم کردن اصطکاک شده و عمل رانش بلوک را آسان‌تر می‌کند. بیشترین کاربرد این روش برای تولید پروفیل‌های فلزات غیر آهنی مثل آلومینیوم است. شکل (۲۶ــ۸) نمونه‌هایی از پروفیل‌های تولید شده به روش اکستروژن را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴ــ۸ــ نمونه‌ای از قالب مورد استفاده در فرآیند اکستروژن



شکل ۲۵ــ۸ــ فرآیند اکستروژن در تولید قطعات صنعتی

شکل ۲۶ــ۸ــ اعمال فشار توسط پرس هیدرولیک به فلز گداخته در فرآیند اکستروژن

۱ــ Extrosion

۲ــ نوعی قالب است که فلز گداخته با فشار از داخل آن عبور می‌کند و شکل مقطع خروجی آن را به خود می‌گیرد.

شکل ۲۷ــ۸ــ پروفیل‌های مختلف فلزی تولید شده به روش اکستروژن

۷ــ۸ــ متالورژی پودر

متالورژی پودر فرآیند قالب گیری قطعات فلزی از پودر فلز توسط اعمال فشار زیاد می‌باشد. در این فرآیند پس از عمل فشردن پودر فلز، عمل تف جوشی در درجه حرارت زیرنقطه ذوب و در فشار یک اتمسفر انجام می‌پذیرد که در آن ذرات فلز ضمن متراکم شدن، به‌هم جوش می‌خورند. نمودار (۴ــ۸) مراحل مختلف تولید قطعات صنعتی به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.

نمودار ۴ــ۸ــ مراحل مختلف روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی

یکی از مزایای این روش قابلیت آن برای تولید قطعات پیچیده با کیفیت بالا و تلرانس‌های دقیق با رعایت جنبه‌های اقتصادی است. شکل (۲۸ــ۸) کاربرد روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی و نمونه‌هایی از قطعات تولید شده به این روش را نشان می‌دهد.

نمودار ۵ــ۸ــ کاربرد متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی

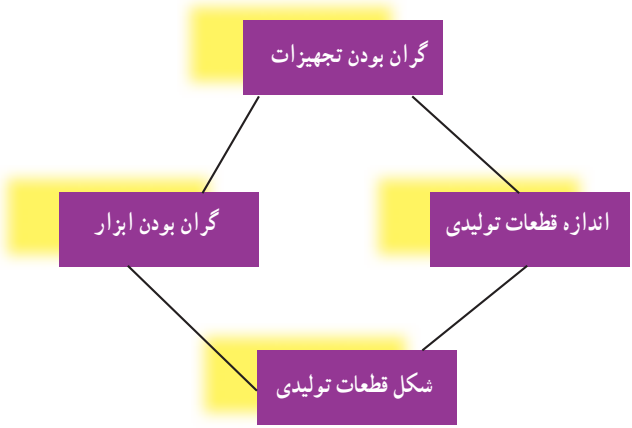
شکل ۲۸ــ۸ــ نمونه‌هایی از قطعات صنعتی تولید شده به روش متالورژی پودر

یکی از کاربردهای رایج قطعات متالورژی پودر در صنایع خودروسازی می‌باشد.

از دیگر قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر می‌توان به تولید رشته‌های تنگستنی لامپ، بوش‌های خود روانساز، اتصالات الکتریکی، اجزاء ترمیمی بدن، قطعات ماشین‌های اداری، صافی‌های مورد مصرف در دمای بالا، قطعات ضدسایش، قطعات توربین و آمالگام‌های دندانپزشکی اشاره نمود. شکل (۲۹ــ۸) نمونه‌های دیگری از قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.

شکل ۲۹ــ۸ــ نمونه‌هایی دیگر از محصولات تولید شده به روش متالورژی پودر

با وجود تمامی مزیت‌های متالورژی پودر، محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد. نمودار (۶ــ۸) به محدودیت‌های روش متالورژی پودر اشاره می‌کند.



نمودار ۶ــ۸ــ محدودیت‌های روش متالورژی پودر

با این وجود بیشتر قطعات تولید شده بوسیله متالورژی پودر کمتر از ۲/۳ کیلوگرم وزن دارند، اگرچه می‌توان قطعاتی با وزن ۱۶ کیلوگرم را هم به وسیله ماشین آلات متعارف متالورژی پودر تولید کرد. هم‌چنین گران بودن ابزار و تجهیزات خط تولید باعث می‌شود که ظرفیت تولید پایین، غیراقتصادی گردد.

آزمون پایانی

۱ــ در صنعت کدام روش قالب‌گیری فراگیرتر از سایر روش‌ها است؟

الف) بوته‌ای ب) ماسه‌ای ج) سرامیکی د) تحت فشار

۲ــ کدام گزینه غلط بیان شده است؟

الف) در روش قالب ماسه‌ای قالب و مدل یک بار مصرف هستند.

ب) قالب فلزی برای مدت طولانی مورد استفاده واقع می‌شود.

ج) در روش قالب گیری دقیق مدل هم یکبار مصرف است.

د) در ریخته‌گری تحت فشار قطعات محکم و بدون مک تولید می‌شود.

۳ــ کدام گزینه نادرست است؟ بیان شده است که.

الف) از مزایای فرج نداشتن ضایعات است.

ب) تمامی فلزات را می‌توان با روش فورج شکل داد.

ج) امروزه فرج کاری جای آهنگری سابق را گرفته است.

د) فرم گرفتن لقمه گداخته با ضربه درون قالب نوعی فرج است.

۴ــ چگونگی استفاده از نورد در ساخت را بنویسید.

۵ــ ماده اولیه نیم ساخته‌های فولادی چه شکلی دارد و چگونه شکل می‌گیرد؟

۶ــ تف جوش یعنی چه و در کجا مورد استفاده واقع می‌شود؟

۷ــ مزایای تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.

۸ــ کاربرد متالورژی پودر در صنایع اتومبیل کدام است؟

۹ــ محدودیت‌های تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.

۱۰ــ در کدام روش ماشین کاری، قطعه کار ضمن عبور از ابزارهای برنده متوالی شکل می‌گیرد؟

الف) تراشکاری ب) فرزکاری ج) خان‌کشی د) سنگ‌زنی

فصل نهم

انتخاب مواد

هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ مراحل عرضه یک محصول به بازار را نام ببرد.

۲ــ فرآیند انتخاب مواد را شرح دهد.

۳ــ دلایل کلی انتخاب مواد اجزاء یک محصول را بیان نماید.

۱ــ۹ــ مقدمه

در فصل‌های قبل با مواد مختلف صنعتی، خواص و موارد کاربرد آنها در صنعت آشنا شدیم و به‌صورت مختصر روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل مراحل کلی انتخاب مواد برای سازه‌های صنعتی با ذکر مثال بیان می‌شود و پارامترهای مؤثر در آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲ــ۹ــ انتخاب مواد مهندسی

برای ورود به بحث با بررسی خواص چند سازه صنعتی شروع می‌کنیم :

برای ساخت ریل‌های قطار از فولاد استفاده می‌شود، چون فولاد دارای استحکام و چقرمگی بالا می‌باشد و در برابر سایش مقاوم است. مناسب‌ترین نوع فولاد CK۶۰ و CK۷۰ می‌باشد که دلیل آن قابلیت سختی‌پذیری سطحی آن و در نتیجه مقاومت به سایش مناسب می‌باشد. از مواد سرامیک و یا پلیمرنمی‌توان استفاده کرد چون : سرامیک‌ها تُرد و شکننده هستند و پلیمرها با وجود چقرمگی مناسب، استحکام لازم برای تحمل وزن قطار را ندارد (شکل ۱ــ۹).

شکل ۱ــ۹ــ ریل راه آهن از فولاد مقاوم در برابر سایش ساخته می‌شود.

برای ساخت بدنه کشتی نکات زیر باید در انتخاب ماده مد نظر قرار گیرد :

- استحکام بالا
- قابلیت شکل‌پذیری و جوشکاری مناسب
- مقاومت در برابر خوردگی

فولادها و آلیاژهای آلومینیومی می‌توانند انتظارات فوق را برآورده نمایند، هر چند فولاد از نظر استحکام نسبت به آلیاژهای آلومینیوم برتری دارد ولی آلیاژهای آلومینیوم از نظر مقاومت در برابر خوردگی و سبک‌بودن مزیت دارند. بنابراین برای ساخت کشتی‌های غول‌پیکر که استحکام بالاتری نیاز دارند فولاد گزینه مناسب‌تر است (شکل ۳ــ۹) (برای جلوگیری از خوردگی آن از سیستم حفاظتی استفاده می‌کنند) و در ساخت کشتی‌های مسافربری (شکل ۲ــ۹) و قایق‌ها که سرعت آنها نیز اهمیت پیدا می‌کند، استفاده از آلیاژهای آلومینیومی مناسب‌تر است.

شکل ۲ــ۹ــ کشتی مسافربری ساخته شده از آلیاژهای آلومینیومی

شکل ۳ــ۹ــ کشتی غول پیکر ساخته شده از فولاد کربنی

۱ــ۲ــ۹ــ خودرو : جنس ورق‌های مورد استفاده در بدنه خودروها به‌طور عمده از فولادهای میکروآلیاژی می‌باشد شکل (۴ــ۹) چون :

- نسبت استحکام به وزن نسبتاً بالایی دارند.
- از قابلیت شکل‌پذیری و جوش‌کاری مطلوبی برخوردارند.

شکل ۴ــ۹ــ بدنه خودرو به‌طور معمول از فولادهای میکرو آلیاژی (کم آلیاژ) ساخته می‌شود.

۲ــ۲ــ۹ــ هواپیما : بدنه هواپیما را از آلیاژهای آلومینیوم می‌سازند شکل (۵ــ۹) چون : نسبت استحکام به وزن بالایی دارند(حدود سه برابر فولاد است).

شکل ۵ ــ۹ــ بدنه هواپیما به‌طور معمول از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شود.

از سرامیک‌ها و پلیمرها به‌دلایل زیر نمی‌توان برای ساخت بدنه هواپیما استفاده کرد.

سرامیک‌ها

۱ــ قابلیت شکل پذیری کمی‌دارند.

۲ــ ترد و شکننده هستند.

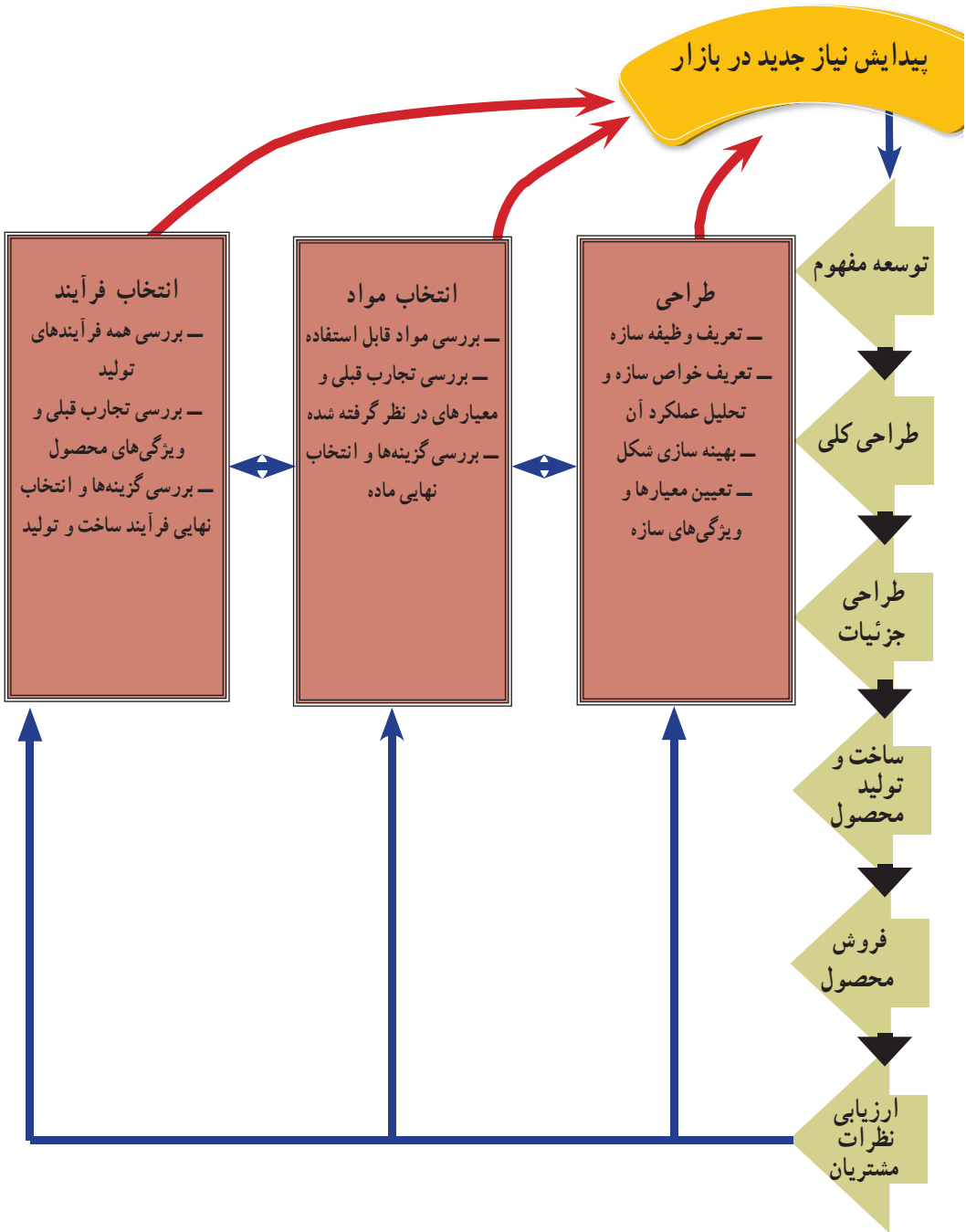
پلیمرها

۱ــ استحکام پایینی دارند.

۲ــ قابلیت اتصال مناسبی ندارند.

۳ــ۹ــ مراحل طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی

به‌طورکلی در فرآیند ساخت و تولید محصول صنعتی مراحل متعددی وجود دارد که باید به آنها پرداخته شود. در نمودار (۱ــ۹) به مراحل اصلی و مهم اشاره شده است.



نمودار ۱ــ۹ــ مراحل عرضه محصول به بازار

انتخاب مواد یکی از مراحل مهم در تولید محصول صنعتی است. سؤال اینجاست که با توجه به گستردگی بسیار زیاد مواد مهندسی، چگونه می‌توان خواص همه آنها را بررسی کرد و به جواب مناسب رسید؟ اگر فرایند انتخاب ماده بدون روند خاصی صورت گیرد، احتمال حذف انتخاب‌های مناسب‌تر وجود دارد. شاید به نظر برسد که می‌توان از تجارب قبلی استفاده نمود، اما روشن است که آنچه در گذشته انتخاب شده یک جواب است، ولی ممکن است مناسب‌ترین جواب نباشد. بنابراین اگر همیشه خود را به تجارب قبلی محدود کنیم از نوآوری غافل خواهیم شد.

۴ــ۹ــ روند انتخاب مواد صنعتی

روند انتخاب مواد باید طوری باشد که در یک زمان محدود با بررسی گزینه‌های موجود، بهترین انتخاب را انجام داد.

۱ــ۴ــ۹ــ وظایف سازه : از آنجایی که سازه‌های مختلف دارای وظایف متفاوتی هستند، بنابراین معیارهای انتخاب آنها نیز متفاوت است. به‌عنوان مثال وظیفه اسکلت ساختمان این است که وزن ساختمان را تحمل کند و در برابر زلزله مقاوم باشد، بنابراین از ویژگی‌های لازم برای سازه مذکور استحکام بالا و تحمل امواج زلزله است.

جداره داخلی یک کوره ریخته‌گری را در نظر بگیرید. این ماده باید در دمای بسیار بالا کار کند و به‌طور دائم با فلزات مذاب در تماس باشد. پس باید در مقابل اکسیداسیون مقاوم باشد و از انتقال حرارت جلوگیری کند تا دمای داخل کوره افت نکند.

مثال دیگر، ماده مورد استفاده در ساخت سنباده است. این ماده باید بسیار سخت باشد تا باعث سایش دیگر اجسام شده ولی خودش سائیده نشود.

۲ــ۴ــ۹ــ شناسایی مواد قابل استفاده : با توجه به نیازها و محدودیت‌های تعیین شده در مرحله قبل، مواد قابل استفاده شناسایی و معرفی می‌شوند.

۳ــ۴ــ۹ــ ارزیابی گزینه‌ها : در این مرحله نقاط قوت و ضعف گزینه‌های مختلف از نظر فنی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و میزان در دسترس بودن و نیز صرفه اقتصادی مواد مختلف در نظر گرفته می‌شود.

به‌طور معمول علاوه بر مسائل فنی ــ اقتصادی محدودیت‌های دیگری نیز در انتخاب دخالت دارند مثلاً در مورد اسباب‌بازی‌ها، سالم و بی‌خطر بودن محصول اهمیت فراوانی دارد و یا استفاده از جیوه برای ساخت باتری ممنوع است چون جیوه باعث مسمومیت می‌شود.

هم‌چنین در این مرحله برای افزایش دقت سعی می‌شود از محاسبات نیز کمک گرفته شود و به کمک نرم افزار شرایط عملکرد سازه شبیه‌سازی و تحلیل گردد. به‌طور مثال با محاسبه حداقل استحکام، سختی، هدایت الکتریکی و سایر معیارهای مهم و مقایسه خواص مواد مختلف با مقادیر تعیین شده، مواد قابل قبول از سایر مواد تفکیک می‌شوند. برای کمک به ارزیابی گزینه‌های باقیمانده می‌توان از پاسخ برخی سؤالات هم کمک گرفت :

۱ــ آیا محیطی که قرار است قطعه در آن کار کند شرایط خاصی دارد؟

دو قطعه را در نظر بگیرید که استحکام یکسانی نیاز دارند ولی یکی از آنها در یک کشتی و دیگری در لوازم خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولی در محیطی کار می‌کند که تحت بارهای مکانیکی زیاد و خوردگی شدید قرار دارد، در حالی‌که شرایط کار قطعه دوم بسیار راحت‌تر است.

۲ــ حساسیت سازه چقدر است؟ (برای فهم بهتر موضوع، حساسیت یک قطعه از هواپیما را با یک قطعه از ماشین لباسشویی مقایسه کنید.)

۳ــ توجیه اقتصادی برای میزان سرمایه گذاری روی محصول چقدر است؟

۴ــ۴ــ۹ــ تصمیم‌گیری : در این مرحله با در نظر گرفتن تمام معیارها(فنی، اقتصادی ، زیست‌محیطی و ایمنی) و توجه به میزان اهمیت آنها، ماده مناسب انتخاب می‌شود.

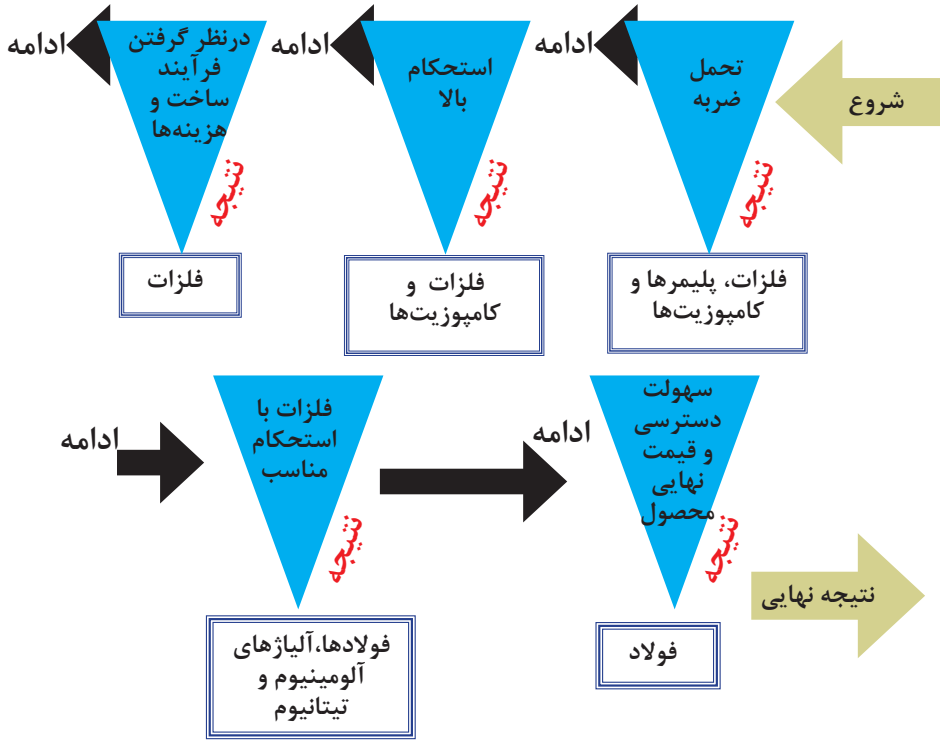
مثال کاربردی : برای درک بهتر موارد ذکرشده، مراحل انتخاب مواد اجزای مختلف یک دوچرخه بررسی می‌شود (شکل ۶ــ۹).

شکل ۶ــ۹ــ بخش‌های مختلف یک دوچرخه که باید از مواد مناسب ساخته شوند.

الف) بدنه : بدنه دوچرخه، ساختار اصلی آن را تشکیل می‌دهد بنابراین مهم‌ترین بخش آن نیز محسوب می‌شود. بدنه باید بتواند فشار ناشی از وزن دوچرخه‌سوار و ضربه‌های احتمالی در ناهمواری‌های راه را تحمل کند (نیاز عملکردی). وزن آن نیز نباید زیاد باشد تا باعث سنگین شدن دوچرخه نشود. بنابر این استحکام نسبتاً زیاد و وزن کم معیارهای اصلی انتخاب ماده مناسب برای بدنه دوچرخه هستند.

در بین مواد مهندسی گفته شده، فلزات و آلیاژهای آنها بهترین ترکیب از استحکام و تحمل ضربه را دارند و با روش‌های مختلف می‌توان مقاطع توخالی از آنها تولید کرد که وزن محصول را کاهش می‌دهد. در بین فلزات نیز فولادها و برخی از آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای تیتانیوم دارای خواص مذکور هستند اما دسترسی به فولادها نسبت به دو دسته دیگر آسان‌تر و قیمت آن به مراتب پایین‌تر است (نیاز اقتصادی).

پس برای بدنه دوچرخه، فولاد انتخاب مناسبی است. ولی برای دوچرخه‌هایی که در مسابقات استفاده می‌شوند. محدودیت هزینه کمتر لحاظ می‌شود، در نتیجه می‌توان از آلیاژهای سبک‌تر و گران‌تر بهره برد. این مطالب در نمودار (۲ــ۹) نشان داده شده است.



نمودار ۲ــ۹ــ روند انتخاب ماده برای بدنه دوچرخه

ب) روکش صندلی: روکش صندلی باید از جنسی ساخته شود که دوچرخه‌سوار با نشستن روی آن احساس راحتی داشته باشد. ولی نباید آنقدر نرم باشد که پس از چند بار استفاده تغییر شکل دهد. بنابراین وظیفه آن ایجاب می‌کند که میزان مناسبی از نرمی و استحکام را هم‌زمان داشته باشد. پلیمرها ضمن سبک و نرم بودن از استحکام مناسبی نیز برخوردار هستند در حالی که فلزات و سرامیک‌ها سخت هستند و برای این محصول مناسب نمی‌باشند. هم‌چنین پلیمرها به‌طور معمول ارزان قیمت هستند. پس در مجموع مواد پلیمری انتخاب مناسبی برای این بخش از دوچرخه هستند.

پ) ترمز: وظیفه ترمز دوچرخه این است که باعث توقف سریع دوچرخه شود، بنابراین باید اصطکاک بالایی بین لاستیک چرخ و ترمز دوچرخه وجود داشته باشد. اغلب سرامیک‌ها زبر بوده و در تماس با مواد دیگر دارای ضریب اصطکاک بالایی هستند، اما آیا می‌توان ترمز دوچرخه را از جنس سرامیک ساخت؟ جواب این سؤال منفی است زیرا سختی بالای سرامیک باعث تخریب لاستیک چرخ خواهد شد. پس بهتر است ترمز را هم‌جنس لاستیک دوچرخه انتخاب کنیم تا علاوه بر داشتن ضریب اصطکاک بالا، عمر لاستیک نیز کاهش نیابد.

ت) سیم برق: مهم‌ترین وظیفه سیم برق آن است که جریان را به‌خوبی منتقل کند. سرامیک‌ها و پلیمرها رسانای جریان برق نیستند، پس باید از فلزات استفاده شود. طلا، نقره و مس در بین فلزات بهترین رسانایی را دارند و همگی با روش‌های تولید سیم سازگارند. ولی با در نظر گرفتن قیمت این فلزات، طلا و نقره کنار می‌روند و مس گزینه مناسب می‌ماند.

ث) زنجیر: وظیفه زنجیر دوچرخه، انتقال نیرو از رکاب به چرخ عقب است. از آنجایی که زنجیر برای انجام این وظیفه با چرخ دنده‌ها در ارتباط است، باید در مقابل سایش مقاومت کند و اگر نیرو به شکل ناگهانی به آن وارد شد دچار شکست نشود. سرامیک‌ها در مقابل سایش بسیار مقاوم هستند ولی ترد بوده و با یک ضربه کوچک می‌شکنند. هم‌چنین امکان ساخت سرامیک‌ها به شکل زنجیر وجود ندارد. پلیمرها نیز نرم بوده و تحمل سایش را ندارند. ولی فولادها از نظر مقاومت در برابر ضربه و سایش انتخاب مناسبی به حساب می‌آیند. ضمن این‌که با استفاده از روغن می‌توان شرایط کاری زنجیر فولادی را راحت‌تر کرد تا عمر آن بیشتر شود.

کار گروهی ۱

با دقت در مثال دوچرخه، در مورد هر یک از قطعات زیر(خودرو) چند ماده مناسب پیشنهاد داده و در نهایت یکی را انتخاب کنید.

- کمک فنر
- شیلنگ رادیاتور
- پیستون
- چرخ دنده گیربکس
- داشبورد
- بدنه
- شاسی

کار گروهی ۲

به نظر شما در مورد قطعات زیر مهم‌ترین معیار انتخاب مواد چیست؟

- راکت بدمینتون
- سیلندر اتومبیل
- قاب تلفن همراه
- بال هواپیما
- کاغذ بسته‌بندی شکلات
- بدنه تانک نظامی
- مدارهای الکترونیکی

آزمون پایانی

۱ــ چرا برای ساخت بدنه کشتی‌های کوچک از آلومینیوم استفاده می‌شود؟

۲ــ دلایل استفاده از پلیمر در ساخت قایق‌های تندرو را بنویسید.

۳ــ گزینه‌هایی که در انتخاب مواد برای یک سازه صنعتی مد نظر است کدام است؟

۴ــ CK۶۰ و CK۷۰ در ردیف کدام گروه از فولادها هستند ؟

جدول ۱ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزار

مقایسه با DIN 17350 (10.80)

مثال‌های کاربردی	A[21]	دمای سخت‌کاری °C	سختی HB[11]	شماره مواد	علامت اختصاری
فولادهای سرد کار غیر آلیاژی					
اجزای قالب، شافت قالب‌های تندبر و فلزات سخت	Ö	800…830	231	1.1740	C 60 W
ابزار هوای فشرده در صنایع معدن و جاده‌سازی	W	790 … 820	183	1.1620	C 70 w2
قالب با حفره تخت، قلم‌دستی، ماتریس ضربه سردکار، چاقو	W	780 … 810	192	1.1525	C 80 W1
تیغه اره نواری ودیسکی برای ماشینکاری چوب، تیغه ماشین‌های درو	Ö	800 … 830	222	1.1830	C 85 W
ابزار پیچ‌بری، قالب اکستروژن، قالب حکاکی، فرمان‌ها	W	770 … 800	213	1.1545	C 105 W1

جدول ۲ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزارسازی پر آلیاژ

مقایسه با DIN 17350 (10.80)

فولادهای سردکار					
مثال‌های کاربردی	A[21]	دمای سختکاری °C	سختی HB[11]	شماره مواد	علامت اختصاری
فولاد سختکاری سطحی هوا سخت، شکل دادن مواد مصنوعی	L	780…810	255	1.2767	X 19 NiCrMo 4
ابزار کار روی مواد ترموپلاستی که خواص خورندگی شیمیایی دارند	Ö	1000…1040	285	1.2316	X 36 CrMo 17
ابزار برش، تیغه‌های خان‌کشی، ابزار پیچ‌زنی غلتکی، قالب‌های پرس، نازل سند پلاست	L	950…980	255	1.2436	X 210 CrW 12
فولادهای گرم کار					
سنبه اکستروژن، قالب چکشی	L	860…900	248	1.2714	19 NiCrMoV 7
قالب، قالب ریخته‌گری تحت فشار فلزات سبک	L	1000…1040	229	1.2343	X 38 CrMoV 51
توپی قالب آهنگری بسته، قلاب آهنگری، قالب ریخته‌گری تحت فشار فلزات سبک و سنگین	Ö	1010…1050	229	1.2365	X 32 CrMoV 33
فولادهای تندبر					
تیغه‌های خان‌کشی، مته ماریچ، تیغه فرز، برقو، قلاویز، خزینه‌زن، قالب برش ظریف	Ö, L	1190…1230	240 تا 300	1.3343	S 6–5–2
تیغه فرز، مته ماریچ، قلاویز	Ö, L	1200…1240		1.3243	S 6–5–2–5
رنده تراشکاری و فولادهای قالب	Ö, L	1210…1250		1.3207	S 10–4–3–10
رنده تراشکاری، رنده صفحه تراش، تیغه فرز	Ö, L	1260…1300		1.3255	S 18–1–2–5

۱ــ وضعیت تحویل 2ــ وسیله سخت کردن (ترساندن) : آب W، روغن Ö، هوا L

جدول ۳ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای سردکار آلیاژی

مقایسه با DIN 17350 (10.80)

علامت اختصاری	شماره مواد	سختی HB[11]	دمای سخت‌کاری °C	A[21]	مثال‌های کاربردی
21 MnCr 5	1.2436	212	810…840	Ö	ابزار براده‌برداری مواد مصنوعی که ماشینکاری شده و سختکاری سطحی (سمانتاسیون) می‌شود.
60 WCrV 7	1.2550	229	870 … 900	Ö	برش ورق فولادی 6…15mm، ماتریس آرایشی، بیرون‌انداز، سنبه سوراخ‌کاری سردکار
90 MnCrV 8	1.2842	229	790 … 820	Ö	شکل‌دادن مواد مصنوعی، تکه‌های براده‌برداری و سنبه‌ها، قالب‌های کشش عمیق، ابزار اندازه‌گیری
100 Cr 6	1.2067	223	790 … 820	Ö	فرامین، سنبه‌های کشش، ابزار براده‌برداری چوب، قرقره لبه‌دار کردن سر لوله، سنبه
115 CrV 3	1.2210	223	760 … 810	W	قلاویز، بیرون‌انداز، سنبه، خزینه‌زن، قلم (فولاد نقره)
106 WCr 6	1.2419	229	800…830	Ö	حدیده، تیغه فرز، برقو، فرامین ابزار اندازه‌گیری، ابزار پیچ‌زنی، سنبه

جدول ۴ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای مقاوم به حرارت

مقایسه با DIN 17155 (10.83)

خواص، کاربرد	تنش تسلیم Re به N/mm² در دمای به °C					درصد تغییر طول نسبی شکست A به ٪	استحکام کششی R_m N/mm²	نوع فولاد	
	500	400	300	200	20	در دمای محیط		شماره مواد	علامت اختصاری
مخصوص همه روش‌های جوشکاری ذوبی و جوشکاری برقی لب به لب ضربه‌ای، مخزن‌های تحت فشار، لوله‌های تحت فشار، تأسیسات دیگ بخار	–	70	95	135	195	25	280…400	1.0348	UH I
	–	110	140	185	235	24	360…480	1.0345	H I
	–	130	155	205	265	22	410…530	1.0425	H II
	–	155	205	245	290	21	460…580	1.0481	17 Mn 4
	–	175	225	265	355	20	510…650	1.0473	19 Mn 6
	150	160	180	225	275	20	440…590	1.5415	15 Mo 3
	175	190	215	240	300	20	440…590	1.7335	13 CrMo 4 4
	185	205	230	245	310	18	480…630	1.7380	10 CrMo 9 10

مقادیر استحکام برای محصولات با ضخامت کمتر از 16mm صادق است.

جدول ۵ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ضد زنگ

مقایسه با DIN 17440 (07 .85)

خواص، کاربرد	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	تنش تسلیم $R_{p0.2}$ N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	سختی HB	B^{11}	نوع فولاد: شماره مواد	نوع فولاد: علامت اختصاری
فولادهای فریتی قابل تغییر شکل سرد، براده‌برداری بد، قابلیت جوشکاری مشروط؛ اجزای مانع و محافظ، پوشش	20	250	400…600	185	G	1.4000	X 6 Cr 13
	18	400	550…700	–	V	1.4002	X 6 CrAl 13
	20	270	450…600	185	G	1.4016	X 6 Cr 17
	20	270	450…600	185	G	1.4510	X 6 CrTi 17
فولادهای مارتنزیتی سختکاری شونده، براده‌برداری خوب، گاهی جوشکاری نشدنی، قطعات با استحکام بالا؛ محورهای ثابت و گردان، صنایع جراحی	20	250	450…650	200	G	1.4006	X 10 Cr 13
	18	420	600…800	–	V		
	–	–	≤ 740	230	G	1.4021	X 20 Cr 13
	14	450	650…800	–	V		
	–	–	≤ 800	250	G	1.4031	X 38 Cr 13
	–	–	≤ 900	280	G	1.4116	X 45 CrMoV 15
فولادهای آستنیتی قابلیت خوب تغییر شکل سرد، جوشکاری خوب، براده‌برداری بد؛ صنایع شیمیایی و تغذیه	45	195	500…700	–	A	1.4301	X 5 CrNi 18 10
	40	200	500…730	–	A	1.4541	X 6 CrNiTi 18 10
	35	210	500…730	–	A	1.4571	X 6 CrNiMoTi 17 12 2
	35	230	490…690	–	A	1.4438	X 2 CrNiMo 18 16 4

1ــ وضعیت عملیات حرارتی؛ G آنیل شده، V بهسازی شده، A سخت شده (ترسانده شده)

مقادیر استحکام برای فولاد تسمه تا ضخامت 25mm و تولیدات صفحه‌ای شکل (ورق و نوار) تا ضخامت 12mm صادق است.

جدول ۶ــ ویژگی‌ها و موارد استفاده فولادهای تسمه و ورق							
مقایسه با DIN 1623 T2 (2.86)							
خواص، کاربرد	سختی HRB	درصد تغییر طول نسبی شکست A ٪	تنش تسلیم R_e N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	C ٪	نوع فولاد: شماره مواد	نوع فولاد: علامت اختصاری
تولیدات صفحه‌ای شکل نورد سرد طبق DIN 1623 T2 در ضخامت 3mm استاندارد شده است. در مورد نبود محدودیت جوشکاری چیزی نمی‌توان گفت. همه انواع و سطوح تولید، مخصوص پوشش رنگ است.	–	20	215	360…510	0.17	1.0037 G 1.0036 G 1.0116 G	St 37.2 G St 37.2 G St 37.3 G
	–	18 16	245 325	430…580 510…680	0.20 0.20	1.0144 G 1.0570 G	St 44.3 G St 52.3 G
	–	14 10 6	295 335 365	490…660 590…770 690…900	0.40 0.50 0.65	1.0050 G 1.0060 G 1.0070 G	St 50.2 G St 60.2 G St 70.2 G

جدول ۷ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای نسوز		
موارد استفاده	ویژگی‌ها	علامت اختصاری
لوله‌های بخار داغ	قابلیت جوشکاری خوب	14 CrMo 4
سوپاپ‌های موتورهای احتراقی	مقاوم در مقابل سایش و خورندگی	X 45 Cr Ni W 15 13 X 45 Cr Ni Si 19 10
قطعات کوره‌های صنعتی، جعبه های بهسازی	مقاوم در مقابل سوختن (تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)	X 15 Cr Ni Si 25 20

جدول ۸ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای فنر قابل بهسازی

مقایسه با DIN 17221 (12.72)

خواص، کاربرد	وضعیت عملیات حرارتی بهسازی شده					نوع فولاد	
	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	تنش تسلیم $R_{P0.2}$ N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	آنیل نرم سختی HB	نورد گرم سختی HB	شماره مواد	علامت اختصاری
حلقه‌های فنری، صفحات فنری	6	1030	1180…1370	217	240	1.0970	38 Si 7
فنرهای تخت و مخروطی	6	1130	1320…1570	245	270	1.0903	51 Si 7
فنرهای بشقابی و استوانه‌ای	6	1130	1320…1570	255	310	1.0961	60 SiCr 7
فنرهای تخت؛ بشقابی؛ استوانه‌ای تخت تنش بالا	6	1180	1370…1620	248	310	1.7176	55 Cr 3
	6	1180	1370…1670	241	310	1.8159	50 CrV 4
	6	1180	1370…1670	255	310	1.7701	51 CrMo 4

مقادیر استحکام برای قطعات با قطر 10mm صادق است.

مدول الاستیسیته حدود $E=200\,000\ N/mm^2$ و مدول برشی (مدول بانکی) $G=800\,000\ N/mm^2$ است.

جدول ۹ــ ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ورق ظریف و ورق سفید (حلبی)

مقایسه با DIN 1616 (10.84)

ورق ظریف یک محصول نیمه تمام نورد سرد از فولاد غیرآلیاژی نرم است.
ورق سفید، یک ورق ظریف با پوشش قلع الکترولیتی دو طرفه است.

تقسیم‌بندی طبق بوشش قلع				تقسیم‌بندی طبق درجه سختی			
دو طرفه نامساوی		دو طرفه مساوی			شماره مواد		
پوشش قلع هر طرف به g/m^2	علامت کوتاه	پوشش قلع هر طرف به g/m^2	علامت کوتاه	سختی راکول HR 30 Tm	ورق ظریف	ورق سفید	علامت اختصاری
2.0 / 1.0	D 2.0 / 1.0	1.0	E 1.0 / 1.0	< 52	1.0371	1.0381	T50
5.0 / 2.8	D 5.0 / 2.8	2.8	E 2.8 / 2.8	48...56	1.0372	1.0382	T52
7.5 / 5.0	D 7.5 / 5.0	4.0	E 4.0 / 4.0	54...61	1.0375	1.0385	T57
5.6 / 2.8	D 5.6 / 2.8	5.0	E 5.0 / 5.0	57...65	1.0377	1.0387	T61
8.4 / 5.6	D 8.4 / 5.6	7.5	E 7.5 / 7.5	61...60	?	?	?

جدول ۱۰ــ کاربرد فولادهای ازته‌شدنی (نیتروژه)

خواص، کاربرد	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	تنش تسلیم $R_{p0.2}$ N/mm²	استحکام کششی R_m N/mm²	11_B	آنیل نرم سختی HB	نوع فولاد: شماره مواد	نوع فولاد: علامت اختصاری
مقایسه با DIN 17211 (94.87)							
قطعات تحت سایش تا ضخامت 250mm سوپاپ اتومبیل	11 10	800 750	1000...1200 900...1100	V V	248 248	1.8515 1.8521	31 CrMo 12 15 CrMoV 5 9
قطعات تحت سایش مقاوم به حرارت تا ضخامت 100mm	11	800	1000...1200	V	248	1.8519	31 CrMoV 9
قطعات تحت سایش مقاوم به حرارت تا $500^{\circ}C$ و ضخامت 80mm ، قطعات توربین بخار	14	600	800...1000	V	248	1.8507	34 CrAlMo 5
برای قطعات مخصوص بزرگ، شاتون، محورها	12	650	850...1050	V	248	1.8550	34 CrAlNi 7

واژه‌نامه

❐الف

استخراج	Extraction
احیا مستقیم	Direct reduction
آهن	Ferrous
آهن خام	Pig iron
استخراج فلزات به روش تر	Hydrometallurgy
استخراج فلزات به روش حرارت	Pyrometallurgy
استحکام نهایی تسلیم	Ultimate Tensile Strength
آلیاژ	Alloy
استاندارد	Standard
آستنیت	Austenite
آلومینیوم	Aluminum
آهنگری	Forging

❐ب

بینیت	Beinite
برشکاری	Cutting
توماس ـ بسمر (روش فولادسازی)	Tomas ـ Besmer
تنش	Stress
تنش تسلیم	Yield stress

Fracture stress	تنش شکست
Tensile test	تست کشش
	❐پ
Polymer	پلیمر
Plastic	پلاستیک
Metallic bonding	پیوند فلزی
Aging	پیرسختی
Pearlite	پرلیت
	❐ج
Periodic table of elements	جدول طبقه‌بندی عناصر
Solid	جامد
Welding	جوشکاری
	❐چ
Cast Iron	چدن
White cast iron	چدن سفید
Grey cast iron	چدن خاکستری
Malleable cast iron	چدن مالیبل
Ductile cast iron	چدن نشکن
Density	چگالی
	❐خ
Milling	خرد کردن

خواص فیزیکی	Physical properties
خواص مکانیکی	Mechanical properties
خزش	Creep
خستگی	Fatigue

ر

ریزساختار	Microstructure
روی	Zinc
ریخته گری	Casting

ز

زیمنس ـ مارتین (روش فولادسازی)	Siemens ـ Martin

س

سرامیک	Ceramic
ساختار اتمی	Atomic Structure
سلول واحد	Lattice
سلول واحد مکعبی ساده	Simple Cubic
سلول واحد مکعبی مرکزدار	Body Centered Cubic
سلول واحد مکعبی با وجوه مرکزیر	Face Centered Cubic
سلول واحد منشور با قاعده شش ضلعی فشرده	Hexagonal Close ـ Packed
سایش	Wear
سختی	Hardness
سختی راکول	Rockwell hardness

Brinell hardness	سختی برینل
Vickers hardness	سختی ویکرز
Cementite	سمانتیت
Lead	سرب
	❐ش
Glass	شیشه
Brittle fracture	شکست ترد
Ductile fracture	شکست نرم
	❐ع
Heat Treatment	عملیات حرارتی
Defect	عیب
	❐غ
screening	غربال کردن
	❐ف
Metal	فلز
Ferrous metal	فلزات آهنی
Non ـ Ferrous metal	فلزات غیرآهنی
Steel	فولاد
Plain carbon steel	فولاد ساده کربنی
Alloy steel	فولاد آلیاژی
Stainless steel	فولاد زنگ نزن

فولاد کم آلیاژ پر استحکام	High Strength Low Alloy
فولاد ابزار	Tools steel
فیبر	Fiber
فریت	Ferrite
❐ق	
قلع	Tin
قلع اندود	Tinning
❐ک	
کوره بلند	Blast furnace
کامپوزیت	Composite
کوره قوس الکتریک	Electric arc furnace
کریستال	Crystal
کرنش	Strain
کرنش شکست	Fracture strain
کار سرد	Cool work
کار گرم	Hot work
❐گ	
گالوانیزه کردن	Galvanizing
گاز	Gas
گلویی شدن	Necking
❐ل	

Rubber	لاستیک
Pipe	لوله
	❐م
Mandaliev	مندلیف
Electron See model	مدل دریای الکترونی
Liquid	مایع
Magnetic	مغناطیس
Stress ــ Strain curve	منحنی تنش ــ کرنش
Elastic zone	منطقه الاستیک
Plastic zone	منطقه پلاستیک
Elongation	میزان ازدیاد طول
Martensit	مارتنزیت
Copper	مس
Powder Metallurgy	متالورژی پودر
	❐ن
Nanomaterials	نانومواد
Tension force	نیروی کششی
Pressure force	نیروی فشاری
Shear force	نیروی برشی
Screw force	نیروی پیچشی
Melting point	نقطه ذوب

Boiling point	نقطه جوش
Rolling	نورد
	❐و
Plate	ورق
	❐هـ
Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی
Thermal Conductivity	هدایت حرارتی

منابع و مآخذ

1_ Avner, introduction to physical metallurgy, McGraw Hill, 1983.

2 _ David A. Porter, Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC press, 2001.

3_ Dieter, mechanical metallurgy, McGraw Hill, 1984.

4_ Metal handbook 19th edition, vol 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys.

5_ Metal handbook 29th edition, vol, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special _ Purpose Materials.

6_Metal handbook 58th edition, vol, forging & casting.

7_ Metal handbook 19th edition, vol, Metallographic and Microstructures.

۸ــ خواص مکانیکی مواد: فلزات و سرامیک‌ها، نگارش علوم، احمد رزاقیان و آرمان صدقی، ۱۳۸۴

۹ــ خواص فیزیکی مواد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، احمد رزاقیان و سعید باغشاهی، ۱۳۸۸

۱۰ــ اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها، دانشگاه صنعتی اصفهان، محمدعلی گلعذار، ۱۳۸۸

۱۱ــ مرجع کامل آلیاژهای آهنی و غیرآهنی، سایه گستر، علیرضا ململی، ۱۳۸۸

۱۲ــ آلومینیوم و آلیاژهای آن، سراجیان، جواد قربانیان و حسین سراجیان، ۱۳۸۸

۱۳ــ خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرها، دانشگاه تهران، سیامک مطهری و ایرج رضاییان، ۱۳۸۶

۱۴ــ انتخاب مواد برای طراحی ــ مهندسی، دانشگاه فردوسی (مشهد)، ترجمه علی حائریان اردکانی، محسن حداد سبزوار و فاتح فاضلی

۱۵ــ جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو ــ بخش فولادسازی، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

۱۶ــ جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو ــ بخش آلیاژهای آهن کربن، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران