

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# شناخت و خواص مواد

رشته‌های ساخت و تولید – نقشه‌کشی عمومی

زمینه صنعت

شاخه متوسطه فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۱۵۲۶

---

عنوان و نام پدیدآور : شناخت و خواص مواد [کتابهای درسی] رشته‌های ساخت و تولید- نقشه‌کشی عمومی زمینه صنعت / برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف؛ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش؛ مؤلف سید حسین حسینی نجف‌آبادی؛ [برای] وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی.

مشخصات نشر : تهران: شرکت انتشارات فنی ایران، ۱۳۹۰.

مشخصات ظاهری : ۱۳۴ص.

فروست : شاخه متوسطه فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۱۵۲۶.

شابک : 978-964-389-374-3

وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا

موضوع : ماده-- خواص

شناسه افزوده : حسینی نجف‌آبادی، سید حسین، ۱۳۶۰-

شناسه افزوده : سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

رده‌بندی کنگره : QD ۴۷۳ / ش ۹ ۱۳۹۰

رده‌بندی دیویی : ۳۷۳

شماره کتابشناسی ملی : ۷۶۴۷۴۳۲

وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت برتألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب/کد کتاب: شناخت خواص مواد - ۳۵۹/۵۵

مؤلف: سیدحسین حسینی نجف‌آبادی

اعضای کمیسیون تخصصی: غلامحسن پایگانه، عزیز خوشینی، ابوالحسن موسوی، محمد خواجه حسینی، حسن عبدالله‌زاده،

حسن امینی

مجری: شرکت انتشارات فنی ایران

ویراستار فنی: دکتر نیره بی‌بی سلطانی

رسم فنی: سیدمرتضی میرمجیدی

صفحه‌آرا: عاطفه انتظاری

طراح جلد: محبوبه آقاحسینی

نظارت بر چاپ و توزیع: اداره کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

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

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، صندوق پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌گاه [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

ناشر: شرکت انتشارات فنی ایران: تهران - خیابان مطهری - خیابان میرعماد - پلاک ۲۴

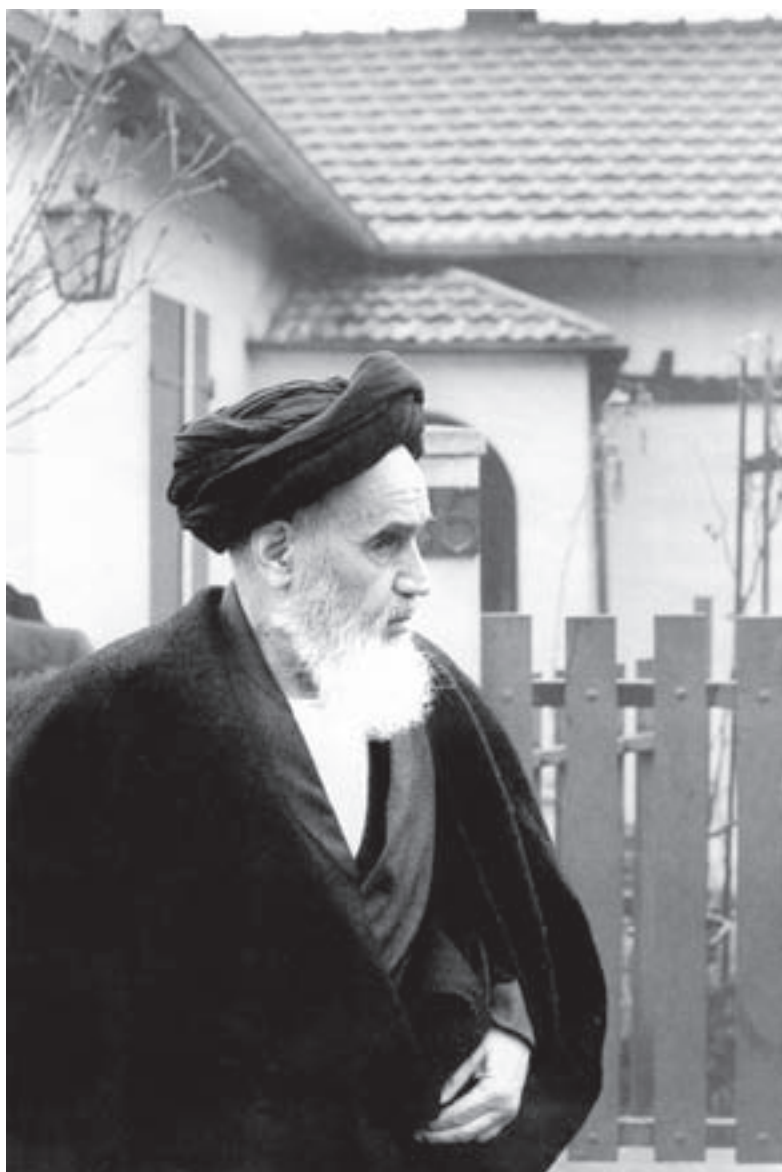
[www.entesharat.com](http://www.entesharat.com) تلفن: ۸۸۵۰۵۰۵۵، دورنگار: ۸۸۵۳۲۱۳۶، صندوق پستی: ۱۵۸۷۷/۳۶۵۱۱ وب‌گاه

چاپخانه: فرهنگ پرور

نوبت و سال چاپ: چاپ دوم ۱۳۹۱

ISBN 978-964-389-374-3

شابک ۳-۳۷۴-۳۸۹-۹۶۴-۹۷۸



جوان‌ها قدر جوانی‌شان را بدانند و آن را در علم و تقوی و سازندگی خودشان  
صرف کنند که اشخاصی امین و صالح بشوند. مملکت ما با اشخاص امین  
می‌تواند مستقل باشد.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»

## پیشگفتار ناشر

انتشارات فنی/ایران نزدیک سه دهه است که کتاب‌های فنی منتشر می‌کند. این کتاب‌ها مورد توجه دست‌اندرکاران آموزش فنی و حرفه‌ای کشور از قبیل سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور وابسته به وزارت کار، و نیز استادان و هنرآموزان و هنرجویان قرار گرفته است. کتابی که پیش رو دارید در چارچوب فعالیت‌های جدید/انتشارات فنی/ایران منتشر شده است.

ساختار و محتوای کتاب بر اساس جداول هدف و محتوای درس شناخت و خواص مواد و انتظارات دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش تألیف شده است و تولید محتوا را مؤلفان شرکت بر عهده داشته‌اند. و محتوای علمی کتاب‌ها توسط دفتر مذکور مورد تأیید قرار گرفته است. ویرایش زبانی و تولید فنی کتاب‌ها هم در شرکت/انتشارات فنی/ایران انجام پذیرفته است. /انتشارات فنی/ایران امیدوار است در آینده بتواند نقش قابل قبولی در تولید کتاب‌های درسی شاخه فنی و حرفه‌ای و شاخه کاردانش مورد درخواست دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش ایفا کند.

شرکت انتشارات فنی ایران

هدف کلی:

شناخت مواد صنعتی و آشنایی با کاربرد آنها

# فهرست

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: طبقه بندی مواد
۲۵	فصل دوم: آهن و آلیاژهای آن
۵۷	فصل سوم: فلزات غیر آهنی
۸۶	فصل چهارم: مواد غیر فلزی
۱۰۳	فصل پنجم: مواد غیر فلزی
۱۱۴	فصل ششم: فناوری نانو

## فصل اول: طبقه بندی مواد

### ◀ هدف‌های رفتاری

پس از آموزش این فصل از هنرجو انتظار می رود:

- تاریخچه علم مواد را شرح دهد.
- اهمیت آموختن علم مواد را شرح دهد.
- طبقه بندی مواد را توضیح دهد.
- آلیاژ را تعریف کند.
- سرامیک ها را شرح دهد.
- خواص سرامیک را شرح دهد.
- پلیمرها را تعریف کند.
- خواص پلیمرها را تعریف کنید.
- خواص شیمیایی مواد را شرح دهد.
- پیوند یونی را شرح دهد.
- پیوند کووالانسی را شرح دهد.
- پیوندها فلزی را شرح دهد.
- خواص مکانیکی مواد را شرح دهد.
- خواص فیزیکی مواد را شرح دهد.
- خواص تکنولوژیکی مواد را شرح دهد.

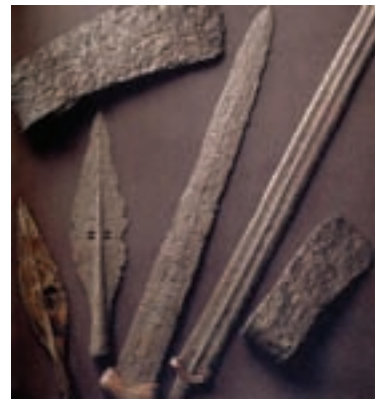


## تاریخچه مواد و علم مواد

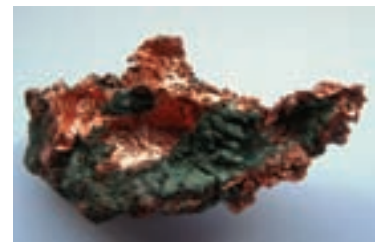
مواد در پیشرفت جوامع بشری نقش بسیار مهمی داشته‌اند، به طوری که مورخین، هر دوره تاریخی را با نام یکی از موادی که در آن دوره نقش مهمی داشته است، نام‌گذاری کرده‌اند. عصر سنگ و عصر برنز از جمله این نام‌گذاری‌هاست. این نشان‌دهنده نقش مهم مواد و اهمیت آن‌ها در زندگی بشر و کنترل رفتارهای او طی هزاره‌های گذشته است. از نقطه نظر تاریخی می‌توان گفت تمدن بشری با عصر سنگ آغاز شده است. در این دوران بشر برای تولید ابزار، سرپناه و سلاح، بر موادی متکی بوده است که از محیط اطراف خود به دست می‌آورده، مانند استخوان حیوانات، سفال، چوب و از همه مهم‌تر سنگ. ابزارهای سنگی به دلیل استحکام و سختی مناسب‌شان بسیار مورد توجه بوده‌اند و لذا این دوران را با عنوان دوران سنگ یا عصر پارینه سنگی و نوسنگی می‌شناسند (شکل ۱-۱).

نخستین اشیاء فلزی ساخته شده به دست انسان، اشیاء کوچک مسی چکش کاری شده‌ای هستند که به نیمه اول هزاره چهارم پیش از میلاد، یعنی پایان عصر سنگ باز می‌گردند. در این دوران انسان در طبیعت به ماده‌ای برخورد که هنگام ضربه خوردن نمی‌شکست، بلکه به علت نرمی تغییر شکل می‌یافت. این نوسنگی مس بود، البته در آن زمان بشر هنوز به خاصیت ذوب شدن فلزات پی نبرده بود. این امر توسط سفالگری کشف شد که ضمن پختن اشیاء سفالین خود در کوره، متوجه شد که بعضی از سنگ‌ها در برابر حرارت ذوب می‌شوند و به شکلی دیگر در می‌آیند (شکل ۱-۲).

این ماده که مقاومت زیادی هم داشت، برای صنعتگران هم بسیار ارزنده بود. به عنوان نمونه‌های چنین محوطه‌های باستانی، می‌توان از محوطه باستانی آریسمان<sup>۱</sup> نام برد که یکی از بزرگ‌ترین مراکز صنعتی-فلزکاری باستانی در ایران است، که تا کنون کاوش‌های انجام گرفته در این محوطه باستانی به کشف آثاری از بقایای کوره‌های ذوب فلزات منجر شده است. این محوطه باستانی که نوعی شهرک صنعتی به حساب می‌آید از هزاره چهارم پیش از میلاد آثار ارزشمندی در خود جای داده که آن‌را به یکی از غنی‌ترین محوطه‌های باستانی ایران و جهان تبدیل کرده است.



شکل ۱-۱ ابزار سنگی کشف شده از غار ملاورد



شکل ۱-۲ سنگ مس

۱- این منطقه از توابع شهر نطنز است.



شکل ۳-۱

از آنجا که مس خالص دارای مقاومت زیادی نیست، فلز کاران در صدد برآمدند تا آنرا با ماده‌ای ترکیب، و استحکام آنرا زیاد کنند. در حدود ۲۵۰۰ تا ۱۵۰۰ سال پیش از میلاد با کشف قلع، عصر مفرغ آغاز شد و صنعتگران توانستند با ترکیب این دو فلز، فلز مستحکم‌تری را ابداع کنند. بدین ترتیب در هزاره دوم پیش از میلاد، مفرغ کاری به صورت یکی از برجسته‌ترین صنایع درآمد. در ناحیه حسنلو در شمال غرب ایران نمونه‌های فراوانی از اشیاء مفرغی این دوران یافت شده است. ناحیه کردستان از مهم‌ترین مراکز تولید مفرغ در ایران و جهان در دوران مفرغ است. هنرمندان این ناحیه توانستند مفرغ را در داخل ماسه، یا به احتمال بیشتر در سفال ریخته‌گری کنند و اشیاء ظریف را به کمک ریخته‌گری و چکش کاری تولید کنند.

اگر چه عنصر آهن از نیمه نخست هزاره سوم پیش از میلاد در بین‌النهرین و آسیای صغیر شناخته شده بود، ولی به علت دیرگداز بودن، عدم چکش‌خواری و تغییر شکل، عملاً نتوانست در صنعت آن زمان جایی برای خود باز کند، تا این‌که در فاصله ۱۵۰۰ تا ۵۵۰ پیش از میلاد با کشف راه‌های تبدیل آهن به فولاد، ظاهراً برای اولین بار در کوه‌های ارمنستان انجام گرفت. آهن نیز برای ساخت انواع وسایل از جمله اسلحه، زیورآلات و ابزار مورد نیاز انسان استفاده شد. به هر حال در حدود ۱۰۰۰ سال پیش از میلاد، صنعت ساخت وسایل آهنی پیشرفت چشم‌گیری کرد و صنعت‌گران آن دوران موفق به ساخت انواع سلاح‌های جنگی و تدافعی، لوازم کشاورزی و ابزار شکار شدند (شکل ۳-۱). نخستین نشانه‌های کوره‌های ذوب فلز عصر آهن در فلات مرکزی ایران در محوطه قل‌ی درویش<sup>۱</sup> کشف شده است. این محوطه حاوی یکی از قدیمی‌ترین کوره‌های ذوب فلز در ایران است که اولین کوره ذوب فلز کشف شده در فلات مرکزی ایران از دوران عصر آهن است (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱ یک نوع کوره قدیمی

۱- قل‌ی درویش: از توابع شهرستان قم

در این میان فلزات گران‌بهایی مانند نقره و طلا در حدود ۲۵۰۰ سال پیش از میلاد کشف شدند و از همان ابتدا به دلیل کمیابی، فسادناپذیری و دوام، و زیبایی برای ساخت زیورآلات و تهیه مصنوعات زینتی مورد استفاده قرار گرفتند. اوج هنر کار با طلا در ایران را شاید بتوان مربوط به دوران هخامنشی و ساسانی نسبت داد (شکل ۵-۱).



پیش از دوره ساسانی اگرچه ساختن اشیاء از فلزات قیمتی پیشرفت زیادی داشته، ولی در عصر ساسانیان به درجه عالی رسیده است. روش‌های ساخت اجرای تکنیک‌های فلزکاری در دوران ساسانیان، بسیار جالب و در عین حال پیچیده است. بیشتر قطعات فلزی به دست آمده نشان می‌دهد که آن قطعات باید ریخته‌گری یا چکش‌کاری شده و در بعضی مواقع باید به‌طور یقین با چرخ تراشیده شده یا فرم داده شده باشند. از همین دوران قطعاتی یافت شده که در آن‌ها دو فلز مختلف با هم کار شده است و نشان می‌دهد که اول، قطعه از یک فلز ریخته شده و پس از تراش و پرداخت، مجدداً آن‌را در قالب قرار داده‌اند و فلز دوم را روی آن ریخته‌اند. در دوران پس از اسلام، در زمان سلجوقیان تا دوران صفویه، فلزات و شکل‌دهی آن‌ها در ایران از پیشرفت‌های شگرفی برخوردار بوده است. در حقیقت عصر آهن با ابداع روش‌های تولید چدن و فولاد در جهان پایان یافت و هم اکنون در عصر فولاد قرار داریم. امروزه اهمیت فولاد تا بدان‌جاست که میزان پیشرفت یک ملت وابستگی بسیاری به تولید فولاد و مصرف آن دارد.



شکل ۵-۱ نمونه‌هایی از فلزکاری



شکل ۶-۱

### - چرا علم شناخت مواد را می‌آموزیم؟

ما در جهانی زندگی می‌کنیم که اشیاء در آن از مواد مختلف ساخته می‌شود. به اطراف خود بنگرید: خودروها، هواپیماها، کامپیوترها، یخچال‌ها، و خلاصه تمام آن‌چه که در اطراف خود می‌بینید، از مواد تولید شده‌اند (شکل ۶-۱ و شکل ۷-۱). ویژگی‌های خاصی لازم است تا بتوان ماده‌ای را برای کاربردهای خاص به کار گرفت و از این‌رو است که علم مواد از اهمیت دو چندانی برخوردار می‌شود. عده زیادی از علوم کاربردی مثل مهندسی‌های مکانیک، عمران و برق همواره با مسائلی روبه‌رو می‌شوند که در طی آن‌ها انتخاب یک ماده، هسته اصلی خواهد بود و در این راه مهندسی مواد و علم مواد شناسی به کمک این علوم خواهد شتافت.



شکل ۷-۱



شکل ۸-۱ مواد با جنس‌های مختلف، کاربردهای وسیعی در زندگی ما دارند.



چند وسیله را نام ببرید که خواص آن‌ها در حین کارکرد نیاز به پایداری داشته باشد توضیح دهید.  
به نظر شما چه عواملی در هزینه تمام شده یک وسیله مؤثر است؟

بیشتر اوقات، مسئله اصلی در حیطه مواد، انتخاب یک ماده برای کاربردی خاص است، ولی به ندرت اتفاق می‌افتد که ماده انتخاب شده تمام خواص مدنظر یا اغلب آن‌ها را داشته باشد، لذا همواره سعی بر آن خواهد بود که تعادلی میان خواص گوناگون، به نحوی که کاربرد موردنظر نیز انجام شود، برقرار گردد. مثال مشهود در این زمینه رابطه میان کشسانی و استحکام است. به طور معمول ماده‌ای که دارای استحکام زیادی است، خاصیت کشسانی کمی دارد، لذا در چنین موادی برقراری رابطه‌ای درست میان کاربرد و این گونه تضادها دارای اهمیت خواهد بود.

دومین موضوع در انتخاب مواد، تغییر خواص ماده در هنگام کار و یا در مجاورت با محیط کار است، بنابراین لازم است همواره ماده در این خصوص پایداری کافی را داشته باشد. از آن جمله می‌توان به کاهش استحکام در اثر افزایش دما یا در محیط‌های خورنده، اشاره کرد. مسائل اقتصادی نیز از موضوعات مهم در انتخاب مواد است. ممکن است ماده‌ای تمامی خواسته‌های ما را در کاربرد موردنظر برآورده سازد، ولی قیمت تمام شده آن مقرون به صرفه نباشد. پس همواره لازم است تعادلی منطقی میان خواص موردنیاز و قیمت ماده موردنظر برقرار باشد.

مجموع عوامل بالا حاکی از اهمیت علم مواد برای رشته‌های گوناگون در حیطه مهندسی است. هر روزه مواد جدید با قابلیت‌های ویژه‌ای ابداع می‌شوند (شکل ۸-۱).

### طبقه‌بندی مواد

انواع مواد مختلف را به روش‌های متفاوتی می‌توان طبقه‌بندی کرد. مواد براساس خواص شیمیایی، به سه گروه عناصر فلزی - غیر فلزی و مواد شبه فلز تقسیم‌بندی می‌شوند که در جدول تناوبی مندلیف به ترتیب عدد اتمی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. (جدول ۱-۱)

ردیف‌های افقی جدول را تناوب و ردیف‌های عمودی آن را گروه می‌نامند. عناصر گروه‌های I و II و III، فلزات هستند. عناصر بین گروه II و III را عناصر واسطه می‌نامند.

آهن به عنوان یک فلز صنعتی در گروه عناصر واسطه قرار دارد. گروه‌های



پنج تا هشت را غیر فلزات تشکیل می دهند و عناصر گروه چهارم نیز شبه فلزات هستند.

عناصر هر گروه مانند لیتیم (Li)، سدیم (Na)، و پتاسیم (K) دارای خصوصیات شیمیایی و مکانیکی تقریباً یکسانی هستند ولی تفاوت زیادی در جرم اتمی دارند. برعکس عناصر در یک تناوب، مانند نیتروژن (N) و کربن (C) و اکسیژن (O) دارای جرم یکسان ولی خواص متفاوت هستند. مواد بر اساس خواص الکتریکی به مواد رسانا، نیمه رسانا و مواد عایق تقسیم بندی می شوند. در طبقه بندی دیگر، انواع مواد مورد استفاده در مهندسی را می توان به

جدول ۱-۱: جدول تناوبی عناصر

فلزهای سبک		فلزهای سنگین																گازهای بی اثر	
I A	II A	فلزهای سنگین										غیر فلزها						He	2
1	2											3	4	5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
6.940	9.012											10.82	12.011	14.008	16.000	19.00	20.183		
3	4											13	14	15	16	17	18		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
22.997	24.32											26.97	28.09	30.98	32.06	35.453	39.944		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
39.098	40.08	45.10	47.88	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.38	69.72	72.64	74.92	78.96	79.904	83.7		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	98.91	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.71	118.71	121.76	127.60	126.90	131.3		
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
132.91	137.34	178.49	180.95	183.85	186.21	188.91	190.23	193.22	195.08	197.04	200.59	204.38	207.2	209.98	210	210	222		
87	88	89																	
Fr	Ra																		
223.02	226.02																		



شکل ۹-۱ با آلیاژ کردن فلزات می‌توان بعضی از خواص آن‌ها را بهبود بخشید.



الف  
لوله‌های سرامیکی



ب  
بلرینگ از جنس سرامیک



ج  
(شکل ۱۰-۱)

صورت فلزات، پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها تقسیم‌بندی کرد. تقسیم‌بندی بر اساس مواد مورد استفاده در مهندسی از بقیه جامع‌تر است و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## فلزات

آهن، آلومینیم، مس، نیکل، فولاد و برنج از جمله فلزات و آلیاژهای متداول در صنعت هستند. آلیاژ، ماده‌ای است با خواص فلزی و تشکیل شده از دو یا چند عنصر شیمیایی که حداقل یکی از آنها فلز است. فولاد و برنج از جمله آلیاژهای مورد استفاده در صنعت هستند. زیرا فلزات در صنعت به‌ندرت به صورت خالص استفاده می‌شوند و برای بهبود خواص آنها، معمولاً عناصر فلزی را با یکدیگر و یا با عناصر غیر فلزی، آلیاژسازی می‌کنند. فلزات دارای خواص الکتریکی، حرارتی، مکانیکی بسیار خوبی هستند که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم. (شکل ۹-۱)



نکته

اهمیت وزن قطعات در ماشین‌آلات تا آنجا اهمیت یافته که فلزات را به دو گروه فلزات سنگین و سبک تقسیم کرده‌اند فلزاتی را که دارای چگالی (جرم مخصوص) بیشتر از  $5 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  هستند را فلزات سنگین و فلزات دارای جرم کمتر از این مقدار را فلزات سبک می‌نامند.

## سرامیک‌ها

سرامیک‌ها، از ترکیب شیمیایی فلزات با تعدادی از عناصر غیرفلزی تشکیل می‌شوند. موادی مانند اکسیدها ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )، نیتrideها و کاربیدها (Sic) از سرامیک‌های مرسوم هستند. سرامیک‌ها کاربردهای فراوانی در زندگی ما دارند. (شکل ۱۰-۱) به عنوان مثال می‌توان به سفال - چینی، شیشه، سیمان اشاره کرد. شکنندگی و سختی زیاد و عایق بودن حرارتی و الکتریکی از خواص سرامیک‌هاست. همچنین سرامیک‌ها در برابر حرارت‌های بسیار زیاد و

محیط‌های به شدت خورنده، مقاومت زیادی دارند. سرامیک‌ها می‌توانند شفاف یا مات باشند و عده‌ای از آن‌ها هم دارای خواص مغناطیسی هستند (شکل ۱۱-۱).



شکل ۱-۱۱ ابزارهای براده‌برداری سرامیکی

### پلیمرها

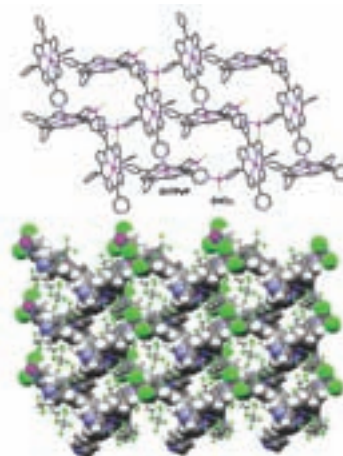
پلیمرها از زنجیرهای بلند کربنی (منومر) در کنار یکدیگر به وجود می‌آیند. این مواد شامل گروه اصلی پلاستیک‌ها و لاستیک‌ها هستند. تعداد زیادی از پلیمرها دارای پایه آلی هستند، مانند لاستیک که از صمغ نوعی درخت خاص تهیه می‌شود. از پلیمرهای بسیار رایج می‌توان به پلی‌اتیلن PE، نایلون و پلی‌وینیل کلراید (PVC) اشاره کرد. چگالی کم، مقاومت در مقابل خوردگی و پایداری شیمیایی از جمله خواص پلیمرها به شمار می‌آیند (شکل ۱۲-۱).

بیشتر این مواد دارای چگالی کمی هستند و خواص منحصر به فردی دارند. از جمله این خواص، نسبت استحکام به وزن آن‌هاست که باعث می‌شود در شرایط یکسان این نسبت در آن‌ها بسیار بهتر از فلزات و حتی سرامیک‌ها باشد.

پلیمرها به راحتی به اشکال پیچیده‌تر درمی‌آیند، زیرا در دمای زیاد، خاصیت جاری شدن این مواد به شدت افزایش می‌یابد و امکان قالب‌گیری آن‌ها را در فرم‌های مختلف فراهم می‌سازد. بیشتر این مواد در محیط‌های خورنده بی‌اثر هستند و خواص شیمیایی خود را به خوبی حفظ می‌کنند، ولی مقاومت حرارتی آن‌ها کم است و همین امر استفاده از آن‌ها را محدود می‌سازد. به علت عایق بودن پلیمرها در برابر جریان الکتریسیته، از آن‌ها برای جلوگیری از عبور جریان برق در تجهیزات گوناگون استفاده می‌شود.

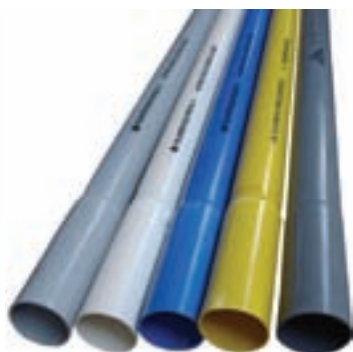


شکندگی زیاد و سختی زیاد و عایق حرارتی و الکتریکی از خواص سرامیک‌هاست.



شکل ۱-۱۲ زنجیره‌های بلند یک پلیمر

در شکل ۱-۱۳ از الف تا چ نمونه‌هایی از وسایل ساخته شده از پلیمرها را نشان می‌دهد.



(الف)



چگالی کم، مقاوم در مقابل خوردگی و قالب‌گیری آسان از جمله خواص پلیمرهاست.



(ب)



(ث)



(ت)



(پ)



(ج)



(چ)

شکل ۱-۱۳



## کامپوزیت‌ها

در کاربردهای مهندسی، امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص مورد نظر را فراهم کند، وجود ندارد. به عنوان مثال، در صنایع هوافضا، به موادی نیاز است که ضمن داشتن استحکام بالا، سبک بوده و مقاومت به خوردگی و سایش بالا داشته باشد. (شکل‌ها ۱-۱۴ و ۱-۱۵)

کامپوزیت‌ها، موادی چندجزئی هستند که خواص آن در مجموع از هر کدام از اجزاء بهتر است ضمن اینکه اجزای مختلف خواص خود را نیز حفظ می‌کنند و کارایی یکدیگر را بهبود می‌بخشند. معمولاً کامپوزیت‌ها از یک جزء زمینه و یک جزء تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند. کامپوزیت‌ها به سه دسته کامپوزیت‌های زمینه فلزی، سرامیکی، پلیمری تقسیم‌بندی می‌شوند.

یکی از مرسوم‌ترین و پرکاربردترین کامپوزیت‌ها، فایبرگلاس است. فایبرگلاس یک کامپوزیت با زمینه پلیمری است که توسط الیاف شیشه تقویت شده است. الیاف شیشه، استحکام زمینه پلیمری را افزایش می‌دهند. این کامپوزیت، انعطاف‌پذیری خوبی در طراحی قطعات دارد. (شکل ۱-۱۶) از خواص دیگر آن نسبت استحکام به وزن بالای آن و مقاومت به خوردگی خوب آن است. انواع پروفیل‌های ساختمانی، انواع کانال مخصوص عبور سیم و لوله از کاربردهای فایبرگلاس است.

در کامپوزیت‌های الیاف کربن، الیاف کربن به دلیل داشتن خواص مکانیکی برجسته مانند استحکام و چقرمگی بالا، سبکی، مقاومت به خوردگی به عنوان تقویت‌کننده در ساخت کامپوزیت‌ها به کار می‌رود. کامپوزیت‌های الیاف کربن در صنعت ساختمان برای کاهش وزن سازه‌ها، لوازم ورزشی، صنعت خودرو و هواپیما و قطارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. (شکل‌های ۱-۱۷ و ۱-۱۹)



شکل ۱-۱۴ یکی از انواع کامپوزیت‌ها بتن مسلح است



شکل ۱-۱۵ کاه گل شاید یکی از اولین انواع کامپوزیت‌ها باشد



شکل ۱-۱۶ قالب‌گیری و تولید قطعات فایبرگلاس



شکل ۱-۱۹ رینگ خودرو از الیاف کربن



شکل ۱-۱۸ بدنه یک دوچرخه از الیاف کربن



شکل ۱-۱۷ یک صفحه تولید شده از الیاف کربن

## خواص مواد

شاید تا به حال از خود پرسیده باشید که چرا مواد مختلف با هم متفاوتند؟ چرا برخی از آن‌ها محکم‌تر از سایرین هستند؟ چرا یک ماده را به شکل‌های مختلف می‌توان در آورد و برخی دیگر را نه؟ چرا برخی مواد رسانا و برخی نارسانا هستند؟

سوال‌هایی 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. تفاوت خواص مواد، فقط مربوط به عناصر تشکیل‌دهنده نیست. برخی مواد با داشتن عناصر تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی متفاوت با یکدیگر، دارای خواص و رفتار مشابهی هستند.

ساختار مواد، ارتباط بین اتم‌ها و یون‌ها، مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن ماده را مشخص می‌کند و پیوندهای شیمیایی، نحوه اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها را نشان می‌دهد. اگر در نحوه اتصال (نوع پیوند)، متفاوت باشد مسلماً خاصیت ماده نیز متفاوت خواهد بود. بنابراین نوع پیوند بین اتم‌ها، یکی از عوامل تعیین‌کننده خواص مواد است.

خواص مواد به چهار دسته شامل خواص شیمیایی، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی و خواص تکنولوژیکی تقسیم می‌شوند که در ادامه به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

## خواص شیمیایی مواد

مواد از اتم‌ها تشکیل می‌شوند. برای این‌که تخمینی از تعداد اتم‌های موجود در یک جسم به دست آورید، توجه کنید که در یک سر سوزن در حدود  $3.5 \times 10^9$  اتم وجود دارد (شکل ۲۰-۱). برای تشکیل یک ماده لازم است که اتم‌ها در کنار یکدیگر قرار گیرند، که این امر توسط پیوندهای اتمی انجام می‌پذیرد. عنصر به ماده‌ای گفته می‌شود که مولکول‌های سازنده آن از یک نوع اتم ساخته می‌شوند. در حدود ۹۱ عنصر طبیعی در طبیعت وجود دارد که تعداد ۷۰ عنصر از آن‌ها جزء فلزات هستند. برخی از این عناصر فلزی بسیار کمیاب هستند و برخی دیگر به دلیل خواص نامطلوب مکانیکی و میل شدید ترکیب شدن با سایر عناصر، کاربردهای مهندسی چندانی ندارند. به طور مثال میل ترکیبی سدیم با



شکل ۲۰-۱ حدود  $3.5 \times 10^9$  اتم در سرسوزن قرار می‌گیرد.

آب آن قدر زیاد است که حالت انفجاری به خود می گیرد. از همین رو آن را در نفت نگهداری می کنند (شکل ۱-۲۱).

در نهایت در حدود ۲۰ عنصر فلزی در مهندسی کاربرد دارند و در ساخت تجهیزات از آن ها استفاده می شود. در میان عناصر غیر فلزی، عده ای از آن ها کاربردهای کلیدی دارند: مانند کربن، که در بیشتر مواد و آلیاژها حضور دارد (مثال بارز آن فولادها و پلیمرها هستند) و سیلیسیم، که در تولید بیشتر مدارهای مجتمع الکترونیکی به صورت خالص موجود است و در حدود ۷۵ درصد از پوسته زمین را نیز تشکیل می دهد (شکل ۱-۲۲).



شکل ۱-۲۱

تحقیق کنید



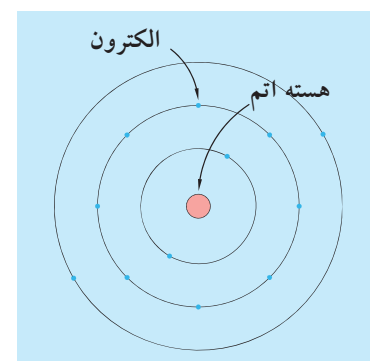
تعدادی از عناصر که میل ترکیب شدن با عناصر دیگر را دارند نام ببرید.



شکل ۱-۲۲ سیلیسیم در ساخت ریزپردازنده ها کاربرد فراوان دارد.

همان طور که می دانید اتم ها از الکترون ها، نوترون ها و پروتون ها تشکیل شده اند. در هسته یک اتم دو ذره پروتون و نوترون وجود دارد و ذره سوم اتم، الکترون است (شکل ۱-۲۳). الکترون ها، حول هسته در مسیریابی خاص به نام مدار می چرخند. پروتون ها دارای بار مثبت، هستند و الکترون ها بار منفی دارند، میزان بار این دو ذره با یکدیگر برابر است. نوترون ها نیز دارای بار خنثی و فاقد بار الکتریکی هستند. بیشتر عناصر در لایه آخر خود، الکترون های کافی جهت پایداری را ندارند و همواره سعی می کنند، الکترون های لایه آخر خود را یا به اتم های دیگر قرض بدهند، یا از آن ها الکترون بگیرند و یا برای تکمیل آخرین لایه اتمی خود الکترون های خود را با اتم های دیگر به اشتراک بگذارند. به طور کلی می توان گفت الکترون های لایه آخر یک اتم در تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی یک عنصر، بسیار تعیین کننده است.

هر ترکیب شیمیایی، از به هم پیوستن یک یا چند اتم از دو یا چند عنصر مختلف تشکیل می شود. با توجه به نوع اتم های درگیر (فلزی و غیر فلزی) روش های گوناگونی برای اتصال آن ها به یکدیگر وجود دارد و هر یک از انواع

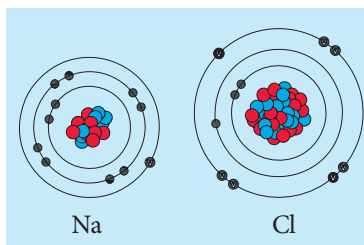


شکل ۱-۲۳ شیوه قرارگیری الکترون ها و پروتون ها در یک اتم

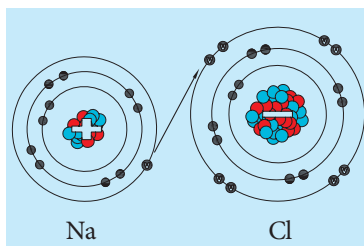
پیوندهایی که در ادامه به آن اشاره می‌شود، ویژگی خاصی در ترکیب یا ماده جدید تولید شده ایجاد می‌کند که این خواص در شناخت علم مواد مورد بحث است.

### ▶ پیوند یونی

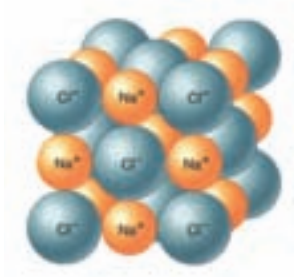
پیوند یونی ساده‌ترین نوع پیوند میان اتم‌هاست. در حقیقت پیوند یونی پیوند میان عناصر فلزی و غیر فلزی را برقرار می‌کند و در صورت ترکیب عناصری که در دو انتهای چپ و راست جدول تناوبی قرار دارند، با یکدیگر، ساختار جدیدی با پیوند یونی ایجاد می‌شود. عناصر فلزی مثل سدیم دارای فقط یک الکترون در لایه آخر خود هستند که میل چندانی به ماندن در مدار مذکور ندارند و به راحتی از اتم جدا می‌شوند، درحالی‌که یک الکترون از اتم جدا شود، تعادل میان بارهای مثبت و منفی میان پروتون‌ها و الکترون‌ها به هم می‌خورد و اتم دارای بار مثبتی (ناشی از وجود یک پروتون) خواهد شد که به آن در اصطلاح یون مثبت گفته می‌شود. عکس این حالت در غیرفلزاتی مثل کلر نیز رخ می‌دهد. در این عناصر، اتم مایل است با جذب الکترون بیشتر، لایه آخر خود را تکمیل کند تا به اصطلاح پایدار شود (حفظ پایداری در اتم‌های فلزی با از دست دادن الکترون رخ می‌دهد). بدین ترتیب اتم مذکور با گرفتن یک الکترون، بار منفی یافته و به یون منفی بدل می‌شود. (شکل ۱-۲۴)



شکل ۱-۲۴ اتم سدیم و کلر در حالت خنثی



شکل ۱-۲۵ انتقال یک الکترون از اتم سدیم به اتم کلر و ایجاد دو یون مثبت و منفی.



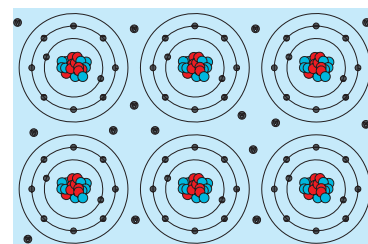
شکل ۱-۲۶ چگونگی قرارگیری یون‌های مثبت سدیم و منفی کلر در کریستال نمک طعام.

در نمک طعام با فرمولاسیون (NaCl) اتم عنصر کلر با جذب یک الکترون به یون منفی کلر، و اتم عنصر سدیم با از دست دادن یک الکترون به یون مثبت سدیم تبدیل می‌شود. حال به دلیل نیروی جاذبه میان دو یون مذکور، این دو یون در ساختاری جدید در کنار یکدیگر خواهند ماند. پیوند میان این دو یون از نوع پیوند یونی است (شکل ۱-۲۵) و اتم‌های این دو عنصر، ساختار کریستالی نمک طعام را می‌سازند که در شکل نشان داده شده است (شکل ۱-۲۶).

پیوند یونی بیشتر در میان سرامیک‌ها وجود دارد. برای مثال اکسید آلومینیم با همین نوع پیوند، ساختاری بسیار سخت، شکننده و با دیرگدازی بالایی ایجاد می‌کند. در حقیقت بیشتر مواد، با پیوندهایی از نوع، پیوند یونی چنین خاصیت‌هایی را از خود بروز می‌دهند.

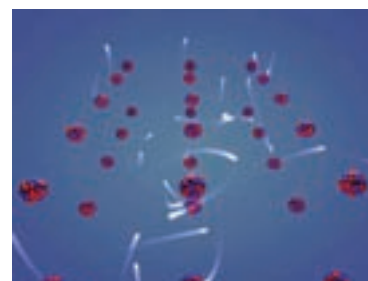
### ▶ پیوندهای فلزی:

بیشتر فلزات دارای یک، دو و یا سه الکترون در آخرین لایه خود هستند و پیوندی بسیار سست با هسته و اتم برقرار می‌سازند و بیشتر مواقع از اتم جدا می‌شوند. در فلزات و آلیاژهای فلزی، اتم‌های فلزی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و الکترون‌های لایه آخر را به راحتی میان یکدیگر تبادل می‌کنند، به طوری که این الکترون‌ها به هیچ اتمی متعلق نیستند. در بیشتر موارد، الکترون‌ها به دریایی تشبیه می‌شوند که یون‌های فلزی در آن‌ها قرار دارند و آن‌ها را به سختی در کنار یکدیگر قرار داده‌اند (شکل ۱-۲۷).



شکل ۱-۲۷ دریای الکترونی در پیوند فلزی

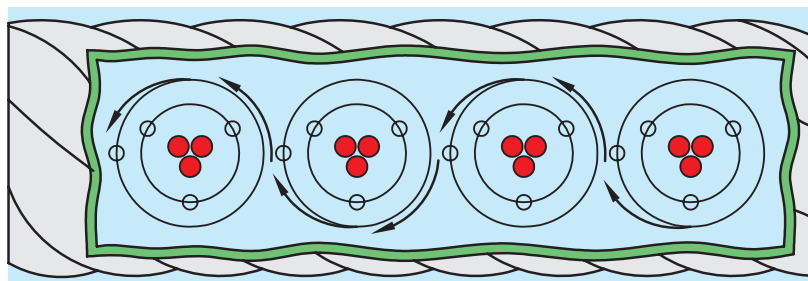
بسیاری از خواص خوب فلزات از جمله رسانایی (انتقال حرارت) و هدایت (جریان الکتریکی) در همین دریای الکترونی ریشه دارد (شکل ۱-۲۸). هدایت الکتریکی به مفهوم تبادل الکترون‌ها در این دریای الکترونی به راحتی صورت می‌پذیرد و با اعمال اختلاف پتانسیل میان دو سر یک سیم فلزی الکترون‌ها (جریان الکتریکی) را درون سیم به جریان درمی‌آورد (شکل ۱-۲۹ و ۱-۳۰). مفهوم انتقال حرارت هم با ارتعاش اتم‌ها و الکترون‌ها همراه است. هر اندازه انرژی حرارتی بیشتری به یک قطعه سیم بدهید، اتم‌های آن با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند و از آن‌جا که اتم‌ها در دریای الکترونی راحت‌تر مرتعش می‌شوند، لذا سرعت انتقال حرارت در بیشتر فلزات بسیار زیاد است.



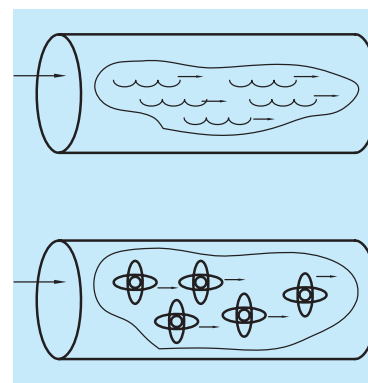
شکل ۱-۲۸

### ▶ پیوند کووالانسی

نوعی پیوند است که میان غیرفلزات رخ می‌دهد و قوی‌ترین نوع پیوند میان اتم‌ها است. همان‌طور که بیان شد، در غیرفلزات الکترون‌های آخرین لایه اتم به شدت به هسته اتم وابسته هستند، لذا اتم‌های مذکور به منظور رسیدن

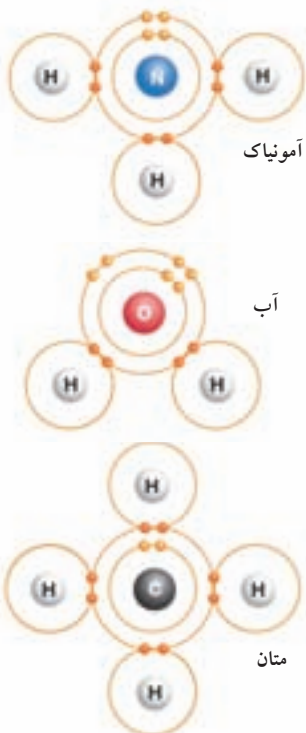


شکل ۱-۳۰ نحوه انتقال جریان الکتریکی در یک رسانا

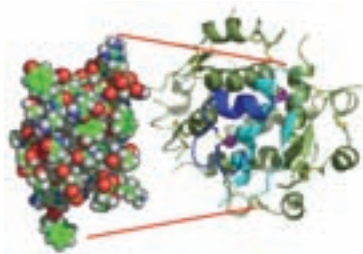


شکل ۱-۲۹





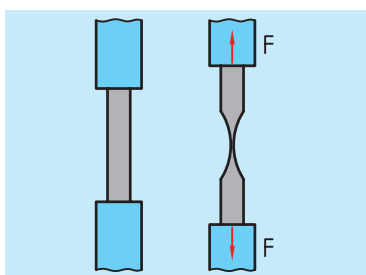
شکل ۱-۳۱ پیوند کووالانسی در سه مولکول آب، آمونیاک و متان.



شکل ۱-۳۲ یک زنجیره مونومری از ماده‌ای آلی (پلیمر)



شکل ۱-۳۳ ابزار تیزکن از جنس الماس



شکل ۱-۳۴ تنش کششی

به پایداری بیشتر، به جای تبادل الکترون‌ها میان یکدیگر، آن‌ها را به اشتراک می‌گذارند (شکل ۱-۳۱).

برای مثال اتم عنصر کربن دارای چهار الکترون در لایه آخر خود است و چهار الکترون دیگر جهت رسیدن به حالت پایدار نیاز دارد، بنابراین با چهار اتم هیدروژن ترکیب می‌شود و با ایجاد چهار پیوند کووالانسی، مولکول گاز متان را تولید می‌کند تا به پایداری برسد. در این اشتراک الکترون، اتم‌های هیدروژن دارای دو الکترون شده و پایدار می‌شوند. اتم کربن هم دارای چهار الکترون گردیده و پایدار می‌شود..

چنان‌چه به جای دو اتم هیدروژن، دو اتم کربن دیگر را جایگزین کنیم و این کار را ادامه دهیم، زنجیره‌های بلندی از کربن‌ها و هیدروژن‌ها خواهیم داشت، که باعث ایجاد ساختار جدیدی می‌شود. از مهم‌ترین موادی که از چنین پیوندهایی پیروی می‌کنند، پلیمرها هستند که با قرارگیری، این زنجیره‌ها در کنار یکدیگر تولید می‌شوند (شکل ۱-۳۲).

از دیگر مثال‌های پیوندهای کووالانسی می‌توان به، پیوندهای کووالانسی میان اتم‌های کربن در ساختار الماس اشاره کرد. این پیوندها آن قدر قوی هستند که الماس را به سخت‌ترین ماده موجود در جهان طبیعت تبدیل کرده است. در شکل، یک ابزار تیز کن با جنس الماس برای تیز کردن مجدد سنگ‌ها استفاده می‌شود. به دلیل آن‌که در پیوندهای کووالانسی، الکترون‌ها بسیار به هسته‌های اتمی مقید هستند، لذا بیشتر موادی که دارای چنین پیوندی هستند، فاقد قابلیت هدایت الکتریکی بوده و ویژگی نارسانایی بیشتر دارند (شکل ۱-۳۳).

## خواص مکانیکی

در علم مهندسی، قطعات طوری طراحی می‌شوند که بتوانند نیروهای مختلفی را تحمل کنند. اعمال نیرو و میزان آن تا جایی ادامه می‌یابد که قطعه یا جزء موردنظر به تغییر شکل دائم و یا شکست نرسد (شکل ۱-۳۴). رابطه میان نیرو و تغییر شکل را بیشتر توسط خواص مکانیکی مواد می‌سنجند.

یکی از مهم‌ترین مفاهیمی که در شناخت خواص مکانیکی مواد اهمیت دارد، تنش نامیده می‌شود. مفاهیم تنش و فشار در رابطه تنگاتنگی با یکدیگر قرار دارند. در حقیقت تنش، از تقسیم مقدار نیرو بر واحد سطح (در یک ماده جامد)

به دست می آید. واحد تنش نیوتن بر متر مربع است که با پاسکال (Pa) نشان داده می شود. تنش که باعث می شود تا جسم کشیده شود، تنش کششی، و تنش که موجب کوتاه تر شدن طول جسم می شود را تنش فشاری می نامند (شکل های ۱-۳۴ و ۱-۳۵). اثر نیرو بر اجسام به صورت تغییر شکل آن ها قابل مشاهده است. برای مثال یک کش پلاستیکی با کشیده شدن، دچار افزایش طول می شود. در حقیقت تمام مواد جامد موجود در طبیعت در اثر اعمال نیرو دچار تغییر طول های کوچک یا بزرگ می شوند. البته این تغییر شکل در بسیاری از آن ها غیر قابل مشاهده است. میزان تغییر ابعاد را تغییر شکل یا به اصطلاح کرنش می نامند. در یک ماده مشخص به ازای هر کرنش یک تنش وجود دارد. در حقیقت، کرنش اندازه تغییر شکل حاصل از اثر نیرو را به ما نشان می دهد (شکل ۱-۳۶).

### ◀ استحکام

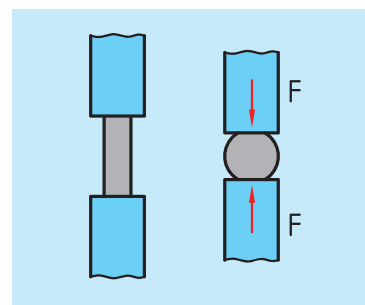
استحکام عبارت است از میزان مقاومت یک جسم در برابر تغییر شکل، بدون آن که دچار شکست شود. در این رابطه استحکام فشاری و کششی از مهم ترین مفاهیمی هستند که مورد بررسی قرار می گیرند. استحکام کششی به بیان میزان مقاومت یا توانایی جسم در تحمل نیروهای کششی، بدون آن که گسستگی رخ دهد، گفته می شود. امکان افزایش استحکام کششی از طریق آلیاژسازی و عملیات حرارتی به وجود می آید. استحکام فشاری نیز به طور معکوس به میزان توانایی یک جسم در تحمل نیروهای فشاری، بدون آن که شکسته شود، اطلاق می شود. جدول ۱-۲ استحکام کششی تعدادی از مواد را نشان می دهد.

استحکام (Mpa)	ماده
۲ تا ۱۲	چوب
۶۰ تا ۱۰۰	پلیمرها
۱۰۰ تا ۶۰۰	آلومینیم و آلیاژهای آن
۸۰ تا ۱۰۰۰	مس و آلیاژهای آن
۲۵۰ تا ۱۳۰۰	آهن و فولاد کربنی
۵۰۰ تا ۱۸۰۰	فولادهای عالی

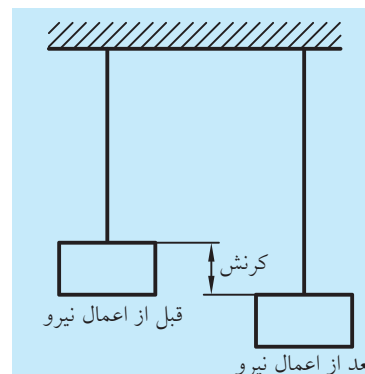
جدول ۱-۲: مواد گوناگون و استحکام هر یک از آن ها

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

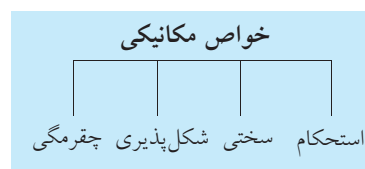
مرجع دانشجویان و مهندسين مواد



شکل ۱-۳۵ تنش فشاری



شکل ۱-۳۶



نمودار ۱-۱



از آن جا که واحد پاسکال Pa برای اندازه گیری های استحکام بسیار کوچک است، برای بیان استحکام، بیشتر از مگا پاسکال (MPa) استفاده می شود.

## ◀ سختی



شکل ۳۷-۱ الماس سخت‌ترین ماده طبیعی



شکل ۳۸-۱ به دلیل سختی کاربردها از آن‌ها برای براده‌برداری از فلزات استفاده می‌شود.

میزان مقاومت یک ماده در برابر نفوذ اجسام خارجی را سختی آن می‌نامند و هر چقدر سختی یک ماده بیشتر باشد، مقاومت به نفوذ آن نیز بیشتر خواهد بود. سختی رابطه مستقیمی با استحکام دارد، به طوری که هر چقدر سختی بیشتر شود، استحکام نیز افزایش خواهد یافت. از طرفی می‌توان انتظار داشت که ماده سخت به راحتی در مواد دیگری که دارای سختی کمتری از آن هستند، فرو رود. در میان مواد، الماس به دلیل داشتن پیوندهای کووالانسی قوی میان اتم‌های سازنده آن که همان کربن است، سخت‌ترین ماده است (شکل ۳۷-۱ و ۳۸-۱). سختی مواد را به روش‌های متفاوتی اندازه‌گیری می‌کنند. این روش‌ها عبارت‌اند از: روش برنیل، ویکرز و راکول. تفاوت این آزمون‌ها بیشتر در نوع و شکل فرورونده دستگاه تست سختی سنج است.

## ◀ شکل پذیری

توانایی یک ماده در تغییر شکل بدون شکسته شدن را شکل پذیری می‌گوییم. در حقیقت رابطه مستقیمی میان ازدیاد طول و شکل پذیری وجود دارد و هر ماده‌ای که بتواند در برابر نیروهای وارده افزایش طول بیشتری داشته باشد را ماده شکل پذیر (نرم) می‌گوییم. موادی را که در برابر تغییر شکل مقاومت ندارند و به سرعت می‌شکنند، ترد می‌نامیم. شیشه از بارزترین مثال‌های مواد ترد است.

در تصادف میان دو خودرو بدنه آن‌ها خرد نمی‌شود، بلکه دچار تغییر شکل می‌شود، چرا که فلزات موادی شکل پذیرند. فولادها، تا یک پنجم طول خود قابلیت ازدیاد طول دارند و این درحالی است که چدن تنها یک درصد ازدیاد طول را تحمل می‌کند. ترموپلاستیک‌ها که خانواده‌ای از پلیمرها هستند، می‌توانند تا پنج برابر طول خود کشیده شوند، بنابراین مواد بسیار شکل پذیری به حساب می‌آیند. با توجه به جدول ۳-۱ می‌توان دریافت که چرا برای تولید قطعات ظریف که به استحکام چندانی نیاز ندارند، ترجیح می‌دهند از مس و آلیاژهای آن استفاده شود.

ماده	درصد ازدیاد طول آن
سرامیک	۰
شیشه	۰
فولاد	۱۸-۲۵
روی و آلیاژهای مس	۱۰-۱۰۰
مس	۵۵

جدول ۳-۱: مواد گوناگون و ازدیاد طول آن‌ها

## تحقیق کنید



دلیل برش شیشه با تیغه‌های الماس چیست؟

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





تکه‌ای از مفتول مسی و فولادی را در چند نوبت خم و راست کنید. کدام یک زودتر گسیخته می‌شود، چرا؟ همین آزمایش را با تکه‌ای از لاستیک انجام دهید و نتیجه را بررسی کنید.

#### نمودار ۱-۲



شکل ۱-۳۹ جیوه فلزی است که در دمای عادی به صورت مایع وجود دارد و در ساخت دماسنج‌ها به کار می‌رود.



شکل ۱-۴۰ گالیم فلزی است که دمای ذوبش کمتر از دمای بدن شماست.



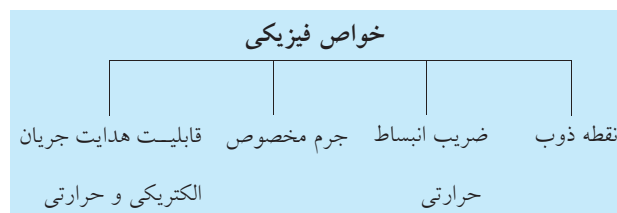
شکل ۱-۴۱ دمای ذوب آهن آنقدر زیاد است که برای ذوب آن از تجهیزات خاصی به نام کوره استفاده می‌شود.

#### چقرمگی:

ماده چقرمه به ماده‌ای گفته می‌شود که در برابر ایجاد ترک و گسترش آن مقاومت کند. مواد ترد مثل شیشه از چقرمگی بسیار پایینی برخوردار هستند. هرگاه در اثر ضربه یک ترک کوچک ایجاد شود این ترک به سرعت در تمام سطح آن گسترش می‌یابد. چقرمگی را می‌توان از طریق دیگری هم تعریف کرد و آن، توانایی ماده در جذب ضربه و مستهلک کردن آن در خود است. هر چقدر ماده، بیشتر بتواند بدون آن‌که بشکند انرژی ضربه را درون خود مستهلک کند، آن ماده چقرمه‌تر خواهد بود. استفاده از پلیمر، کامپوزیت در سپر اتومبیل نیز به دلیل چقرمگی بالای آن‌ها نسبت به فلزات است، در نتیجه می‌تواند ضربه را در درون خود مستهلک سازد.

#### خواص فیزیکی:

خواص فیزیکی مواد، به ساختمان اتمی آن‌ها بستگی دارد. نوع پیوند میان اتم‌ها و چگونگی قرارگیری آن‌ها در کنار یکدیگر از مواردی است که بر خاصیت مواد اثر مستقیم دارد. مهم‌ترین این خواص را در نمودار ۱-۲ مشاهده می‌کنید.



#### نمودار ۱-۲

#### نقطه ذوب:

نقطه ذوب، درجه حرارتی است که ماده جامد در آن درجه حرارت به حالت مایع تبدیل می‌شود. برای مثال این درجه حرارت برای یخ، دمای صفر درجه است. مواد و عناصر به صورت خالص دمای ذوب ثابتی دارند (شکل‌های ۱-۳۹ و ۱-۴۰ و ۱-۴۱).

#### انبساط حرارتی:

به جز تعدادی محدود، بیشتر مواد جامد با افزایش درجه حرارت، افزایش طول می‌دهند و با کاهش درجه حرارت (سرد شدن) طول آن‌ها کاهش می‌یابد. جامدات نه تنها از لحاظ طول، بلکه از لحاظ عرض و ضخامت نیز افزایش



شکل ۱-۴۲ یک نوع ترموستات را نشان می‌دهد. ورقه‌های فلزی با جنس‌های مختلف و ضریب انبساط حرارتی مختلف اساس کار این وسیله است.



شکل ۱-۴۳



شکل ۱-۴۴ گرمکن برقی. کم بودن قابلیت جریان الکتریکی تنگستن، موجب ایجاد حرارت در اثر عبور جریان در آن می‌شود.

می‌یابند. هر ماده‌ای دارای ضریب انبساط خطی و حجمی مربوط به خود است که در بسیاری از کاربردهای مهندسی، این ضریب از اهمیت خاصی برخوردار است (شکل ۱-۴۲).

#### ◀ جرم مخصوص:

جرم واحد حجم هر ماده را جرم مخصوص می‌گویند که برای هر ماده مقدار معین و ثابتی است که به نوع و ساختمان ماده بستگی دارد.

#### ◀ قابلیت هدایت جریان الکتریکی و حرارت:

میزان سهولت در عبور حرارت یا جریان الکتریکی، از خصوصیات مهم مواد است. چنانچه ماده‌ای قابلیت عبور جریان الکتریکی از درون خود را نداشته باشد، آنرا نارسانا و در صورتی که ماده‌ای دارای این قابلیت باشد، آنرا رسانا می‌گویند. در حقیقت هر چقدر ماده‌ای رساناتر باشد، اتم‌های آن ماده در برابر عبور جریان الکتریکی مقاومت کمتری ایجاد می‌کنند. اثر مقاومت بیشتر اتم‌ها در برابر حرکت الکترون‌ها و جریان الکتریکی به صورت گرما در ماده نشان داده می‌شود (یعنی هر چقدر مقاومت در برابر عبور جریان بیشتر باشد، ماده گرم‌تر خواهد شد). درست به همین دلیل است که گرم‌کن‌های برقی با استفاده از چند مفتول فلزی گرمای زیادی تولید می‌کنند (شکل‌های ۱-۴۳ و ۱-۴۴). هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی، رابطه‌ای تنگاتنگ با یکدیگر دارند. در بیشتر موارد هر چقدر ضریب هدایت الکتریکی بیشتر باشد، ضریب هدایت حرارتی بیشتر است و ماده حرارت را راحت‌تر از خود عبور می‌دهد.

قابلیت هدایت حرارتی عبارت است از توانایی یک جسم در انتقال حرارت از نقطه‌ای به نقطه دیگر. حال هر چقدر این قابلیت بیشتر باشد، ماده با اتلاف انرژی کم‌تری حرارت را از خود عبور می‌دهد و به جای دیگر می‌برد. برای مثال حتماً تاکنون توجه کرده‌اید که یک قاشق فلزی در داخل ظرف فلزی غذایی که روی اجاق گاز قرار دارد، بسیار گرم‌تر از یک قاشق چوبی است، چرا که ضریب انتقال حرارت در فلزات بسیار بالاتر از چوب است، به طوری که بیشتر مواد پلیمری عایق حرارتی هستند و حرارت را از خود عبور نمی‌دهند.

با آزمایشی ساده می‌توان مفهوم انتقال حرارت را دریافت. در این آزمایش میان دو لیوان که یکی حاوی آب جوش و دیگری حاوی آب سرد است با بهره‌گیری از یک مفتول فلزی (مثلاً از جنس مس) پل حرارتی ایجاد می‌کنیم. بدین ترتیب حرارت از

لیوان گرم به لیوان سرد منتقل شده و آب آن به تدریج گرم تر می شود (شکل ۱-۴۵).



تخریب سطح قطعات در اثر تأثیر عوامل شیمیایی را خوردگی می نامند. مایعات (رطوبت هوا، اسیدها و بازها ...) گازها و بخارات باعث ایجاد خوردگی در سطح قطعات می شود. بنابراین مقاومت به خوردگی از خواص مهم مواد به شمار می آید. (شکل ۱-۴۶)

### خواص تکنولوژیکی مواد

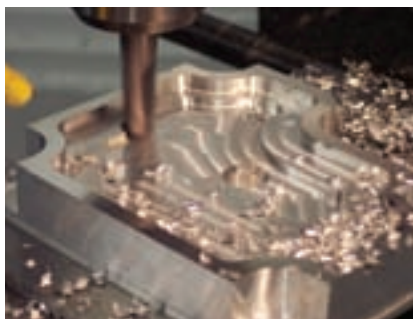
قابلیت چکش خواری، جوشکاری و براده برداری مواد را خواص تکنولوژیکی می گویند.

▶ **قابلیت چکش خواری:** توانمندی تغییر شکل مواد را به کمک نیروی فشاری و ضربه، قابلیت چکش خواری می نامند. به عنوان مثال فولاد، مس و برنج را می توان تحت تأثیر نیروی فشاری تغییر شکل داد و عملیاتی مانند نورد، خم کاری و آهنگری را روی آن ها انجام داد (شکل ۱-۴۷).

▶ **قابلیت ریخته گری:** این مفهوم رابطه تنگاتنگی با شکل پذیری دارد. برخی از مواد را می توان به خوبی توسط فرایند ریخته گری تولید کرد. این مواد به دلیل خاصیت سیالیت خوبشان در حالت مذاب، مقاطع نازک را در قالب های ریخته گری به خوبی پر می کنند. از این جمله می توان به چدن و آلومینیم اشاره کرد (شکل ۱-۴۸).

▶ **قابلیت جوشکاری:** موادی قابلیت جوشکاری دارند که بتوان آن ها را به کمک حرارت یا حرارت توأم با فشار، به صورت مذاب به یکدیگر متصل کرد. فولادها و بعضی فلزات غیر آهنی قابلیت جوشکاری دارند (شکل ۱-۴۹).

▶ **د) قابلیت براده برداری:** موادی دارای قابلیت براده برداری هستند که بتوان آن ها را با سرعت زیاد و نیروی کم ماشین کاری (براده برداری) کرد و سطح آن ها پس از براده برداری، همچنان صاف و پرداخت شده باشد (شکل ۱-۵۰).



شکل ۱-۵۰



شکل ۱-۴۵



شکل ۱-۴۶ آثار خوردگی بر سطح ابزار



شکل ۱-۴۷



شکل ۱-۴۸



شکل ۱-۴۹

## ارزشیابی پایانی

۱. مواد جامد که در کاربردهای مهندسی به کار گرفته می‌شوند به چند دسته تقسیم می‌شوند، در مورد هر کدام توضیح دهید؟
۲. آلیاژ چیست و چرا فلزات را به صورت آلیاژ به کار می‌برند؟
۳. مهم‌ترین خواص سرامیک‌ها را نام ببرید؟
۴. کامپوزیت چیست؟ آیا می‌توانید برای کامپوزیت‌ها کاربردهایی جز آن چه گفته شد، بگویید؟
۵. انواع پیوندهای موجود میان اتم‌های مختلف را نام ببرید؟
۶. پیوند یونی چگونه ایجاد می‌شود؟
۷. عامل اصلی در رسانایی و هدایت الکتریکی خوب در فلزات چیست؟
۸. مهم‌ترین خواص مکانیکی مواد را نام ببرید؟
۹. تنش را تعریف کنید و واحد آن را ذکر کنید؟
۱۰. سختی یعنی چه؟ رابطه آن با استحکام چگونه است؟
۱۱. مهم‌ترین خواص فیزیکی مواد کدام‌ها هستند؟
۱۲. اهمیت مقاومت به خوردگی در انتخاب مواد چگونه است؟



۱. کدام ویژگی الماس باعث می‌شود تا در بریدن شیشه به کار رود؟

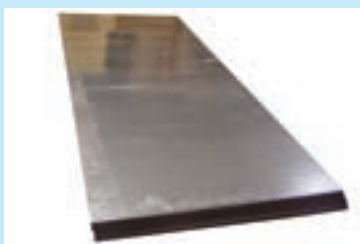


۲. آیا تاکنون به تکه‌تکه شدن قطعات قند از یک قطعه قند خام توجه کرده‌اید؟ حرکات ساده قیچی قندشکن با برشی ساده، قند را تکه‌تکه می‌کند. کدام خاصیت مکانیکی در قند باعث می‌شود تا چنین راحت بشکند؟

۳. چرا در ماشین‌کاری چدن، براده‌های حاصل بسیار ریز و ناپیوسته است؟

۴. از کدام فلز یا فلزات در تولید سیم‌های برق استفاده می‌شود، و کدام ویژگی باعث می‌شود که این فلزات در چنین کاربردی به کار روند؟

۵. اغلب، آهن و آلیاژهای آنرا در کاربردهای صنعتی با پوشش‌های خاصی از فلزات دیگر پوشش می‌دهند. آهن گالوانیزه از این جمله است. تحقیق کنید، اثر این پوشش‌ها بر آهن، و کاربردهای این گونه پوشش‌ها چیست؟ آیا انواع دیگری از چنین پوشش‌هایی وجود دارند؟





۶. می‌خواهیم یک میله آهنی و یک میله آلومینیومی هم‌قطر را تا کنیم. با توجه به خواص مکانیکی آهن و آلومینیم، پاسخ پرسش‌های زیر را بدهید:

الف) فکر می‌کنید، تا کردن کدام میله راحت‌تر است و چرا؟

ب) کدام فلز در محل تاشدگی احتمال ترک خوردن دارد و چرا؟

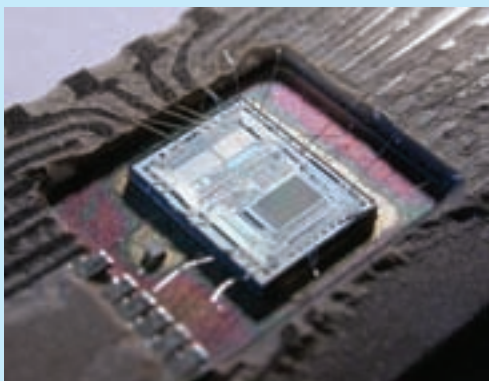
ج) چنانچه پس از تا کردن میله‌ها آن‌ها را رها کنید، میله‌ها اندکی باز خواهند شد. تحقیق کنید علت این موضوع چیست و بروز این پدیده در کدام میله شدیدتر است؟

۷. در تراشکاری قطعات از جنس‌های بسیار سخت، مانند سوپرآلیاژها یا برخی از انواع فولادهای آلیاژی، از ابزارهای سرامیکی استفاده می‌شود. فکر می‌کنید دلیل آن چیست؟



۸. ابزارهای سرامیکی در اثر تراشکاری چدن به راحتی دچار شکست می‌شوند و یا نوک آن‌ها می‌پرد. با توجه به پاسخ سؤال ۳، علت را تحقیق کنید.

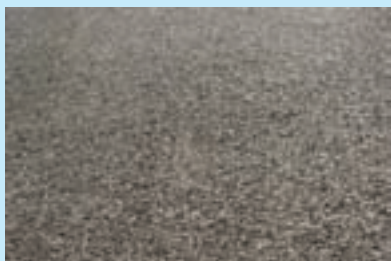
۹. همان‌طور که بیان شد حسگرها به منظور اندازه‌گیری خواص فیزیکی به کار گرفته می‌شوند و این خواص را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند تا قابل اندازه‌گیری باشند. سعی کنید از کاربرد حسگرها در اطراف خود مثال‌هایی بیابید.



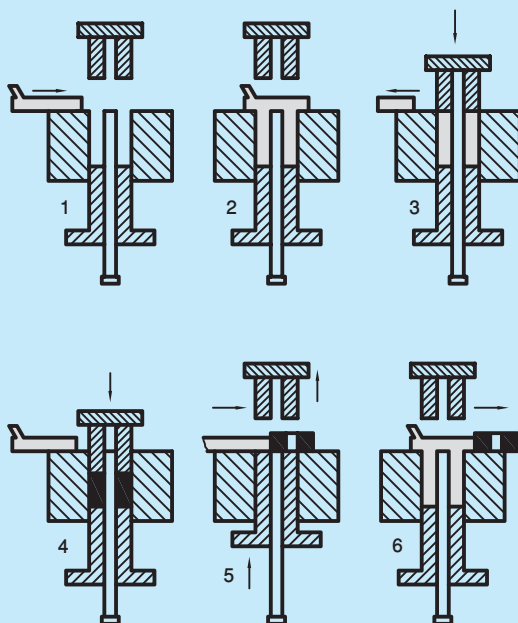




۱۰. آسفالت، ترکیبی است از ماسه درجه بندی شده و قیر که ترکیبی مقاوم به سایش ایجاد می کند. این ماده جزء کدام گروه از مواد است؟ از خواص مهم آن چند مثال بزنید.



۱۱. ابزارهای سرمتی از ترکیب پودر تنگستن کارباید و کبالت تولید می شود. پودر تحت فشار بسیار زیاد پرس می شود، سپس آن را در کوره های خاصی تا دمای معینی گرم می کنند تا به صورت یک دست، و در قالب ابزار برشی درآید. از این ابزارها برای برش فلزات سخت با موفقیت استفاده می شود. این روش تولید را هم با نام متالورژی پودر می شناسند. حال به نظر شما این ماده جزء کدام دسته از مواد است؟



## فصل دوم: آهن و آلیاژهای آن

### ◀ هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود:

- مراحل تهیه آهن از سنگ آهن را شرح دهد.
- انواع سنگ آهن را نام ببرد.
- روش‌های تهیه فولاد را نام ببرد.
- روش‌های تهیه فولاد را شرح دهد.
- اثر کربن بر آهن را شرح دهد.
- طبقه‌بندی فولادها را شرح دهد.
- انواع فولاد را شرح دهد.
- کاربرد انواع فولادها را توضیح دهد.
- عملیات حرارتی را تعریف کند.
- انواع عملیات حرارتی را شرح دهد.
- روش سخت کردن فولاد را توضیح دهد.
- روش نرم کردن فولاد را توضیح دهد.
- مراحل انجام عملیات سختی سطحی را شرح دهد.
- چدن را تعریف کند.
- انواع چدن را شرح دهد.
- کاربرد انواع چدن‌ها را نام ببرد.
- نرم‌بندی آلیاژ آهن را شرح دهد.
- نرم‌بندی فولادها را شرح دهد.
- نرم‌بندی چدن را شرح دهد.



# آهن و آلیاژهای آهن

## مقدمه

با نگاهی به اطراف خود در خواهید یافت که آهن بیشتر از هر فلز دیگری در ساخت تجهیزات به کار می رود. جالب است بدانید که ۹۵ درصد از فلزات تولید شده در جهان امروز از آهن و آلیاژهای آن است. این بدان دلیل است که هزینه تولید آهن کم است و تولید آن با سادگی بیشتری نسبت به دیگر عناصر فلزی انجام می گیرد. استحکام قابل توجه این عنصر فلزی به صورت آلیاژی و امکان افزایش استحکام آلیاژهای آن با روش های گوناگون توسط فرایندهای خاص از مهم ترین عوامل استفاده از این عنصر فلزی به شمار می رود. با این وجود، آهن نقطه ضعف هایی هم دارد که از آن جمله می توان به خوردگی یا همان زنگ زدگی در محیط های مرطوب اشاره کرد، که البته می توان با در نظر گرفتن تمهیداتی این مشکل را برطرف ساخت (شکل ۲-۱).

همچنین آهن فراوان ترین عنصر تشکیل دهنده هسته زمین و چهارمین عنصر تشکیل دهنده پوسته زمین است. این عنصر از دیرباز مورد توجه بوده و از عوامل اساسی و تعیین کننده در جنگ ها برای ساخت ابزار جنگی به شمار رفته است، تا حدی که وجود و امکان تولید این عنصر توسط یک ملت از نشانه های قدرت آن ملت است.

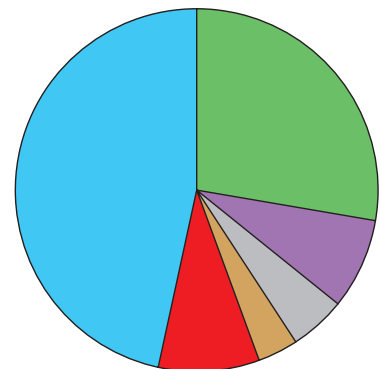
آهن فلزی است خاکستری که به ندرت به صورت خالص در طبیعت یافت می شود و در پوسته زمین بیشتر به صورت ترکیب با عناصر دیگر به ویژه اکسیژن موجود است. (جدول ۲-۱)

جدول ۲-۱

نام سنگ آهن	فرمول شیمیایی	درصد آهن
مغناطیسی (ماگنتیت)	$Fe_3O_4$	۶۰ تا ۷۰
قرمز (هماتیت)	$Fe_2O_3$	۴۰ تا ۶۰
قهوه ای (لیمونیت)	$3H_2O \cdot 2Fe_2O_3$	۳۰ تا ۵۰
کربنات آهن (سیدریت)	$FeCO_3$	۳۰ تا ۴۰



شکل ۲-۱ اثر خوردگی در بدنه فولادی کشتی یونانی در جزیره کیش به وضوح قابل مشاهده است.



اکسیژن  
سیلیسیم  
آلومینوم  
آهن  
کلسیم  
سدیم، پتاسیم  
منیزیم، سایر عناصر

نمودار ۲-۱ درصد آهن در پوسته زمین

در حقیقت هر نوع سنگی که آهن در آن به وفور یافت شود، سنگ معدن آهن نامیده می‌شود.

استخراج و تولید آهن به دلیل تولید انبوه آن بر محیط زیست اثرات نامطلوب زیادی به جا می‌گذارد که لازم است در جهت کاهش این اثرات کوشش کافی به عمل آید. از جمله این اثرات نامطلوب، ایجاد شدن حفره‌های بزرگ بر سطح زمین، ناشی از حفاری‌های استخراج این سنگ معدن است. گاهی از این حفره‌ها برای دفن زباله‌های صنعتی استفاده می‌شود که اثرات مخرب آن دو چندان خواهد شد (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲ یک معدن روباز برای استخراج آهن را مشاهده می‌کنید.

از سوی دیگر تولید آهن که در کوره‌های خاصی که یکی از آن کوره‌ها، کوره بلند است صورت می‌پذیرد، به دلیل تولید مواد زائد و گازهای بسیار سمی، از آلاینده‌های اصلی محیط زیست به‌شمار می‌آید (شکل ۲-۳). این گازها، پس از عبور دادن از غبارگیر و برج شستشو دهنده و فیلتر برای مصارف حرارتی دوباره به سیکل (کک‌سازی) باز می‌گردد.



شکل ۲-۳ دود حاصل از تولید آهن در کوره بلند به تصفیه نیاز دارد.

از مشکلات زیست‌محیطی دیگر می‌توان به آهن و فولاد قراضه که در ماشین‌آلات و خودروهای فرسوده به وفور یافت می‌شود، اشاره کرد. بیش‌تر این زباله‌ها را می‌توان بازیافت کرد و دوباره برای تولید آهن و فولاد به کار گرفت، از همین رو است که قراضه‌های آهن از منابع اصلی تولید آهن و فولاد هستند. آهن در طبیعت و در مجاورت با هوا و رطوبت زنگ می‌زند و در طی سالیان دراز به طبیعت باز می‌گردد.

## تولید آهن

تولید آهن از سنگ معدن آن (که بیشتر به صورت اکسید است) در فرایندی خاص و در کوره بلند صورت می‌پذیرد. سنگ آهن در ابتدا از معادن سنگ آهن که بیشتر به صورت سرباز هستند، استخراج می‌شود و به کمک آسیاب‌های بزرگ و سنگ‌شکن‌ها خرد و شکسته می‌شود. (شکل ۲-۴) بهترین نوع سنگ آهن حداکثر دارای ۶۰ درصد وزنی آهن است. آماده‌سازی صرفاً به خرد کردن و شکستن سنگ‌ها منحصر نیست و پس از آن خرده‌های سنگ با آب شسته می‌شوند تا ناخالصی‌های آن شسته و رفع شوند. جداسازی به کمک روش‌های دیگر از جمله میدان مغناطیسی، روش‌های مرسوم در این زمینه است.



شکل ۲-۴ مراحل گوناگون تلخیص و استحصال آهن از سنگ آن

پس از استخراج و شستن سنگ‌ها، آن‌ها را به همراه سنگ آهک و کک، درون سازه‌ای برج‌مانند و استوانه‌ای که در داخل آن عایق حرارتی خاصی قرار گرفته است، می‌ریزند. این استوانه همان کوره بلند ذوب آهن است که ارتفاع آن به بیش از ۳۰ متر می‌رسد (شکل ۲-۵). کک نیز همان زغال سنگ است که برای تبدیل شدن به کربن، در غیاب اکسیژن و هوا، گرما داده می‌شود (شکل ۲-۶). سنگ آهک به عنوان مواد گدازآور، در کوره به جریان ذوب کمک و جداکردن ناخالصی‌ها از فلز مذاب را آسان می‌کند.



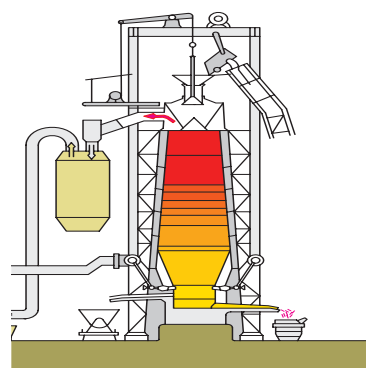
شکل ۲-۵ کوره بلند تولید آهن

در کوره بلند، کربن موجود در کک با اکسیژن ترکیب می‌شود و گاز منواکسید کربن تولید می‌کند. علاوه بر این انرژی درون کوره نیز از سوختن کک، یعنی همین واکنش تأمین می‌شود. منواکسید کربن نیز به نوبه خود با سنگ معدن آهن واکنش می‌دهد تا اکسیژن موجود در سنگ معدن آهن آزاد، و آهن به صورت خالص تولید شود.



شکل ۲-۶ محفظه‌های تولید کک

مذاب حاصل از حرارت سنگ آهن که نسبت به سایر مواد دارای چگالی بیشتری، است در کف کوره قرار می‌گیرد. آهک هم با دیگر ناخالصی‌های موجود در سنگ آهن واکنش می‌دهد و به صورت سرباره با چگالی کم‌تری بر روی مذاب آهن جای می‌گیرد. در این حالت مذاب آهن خام را که حاوی ۹۰ درصد آهن است، از کف کوره جمع‌آوری (شکل ۲-۷) و برای تولید محصولات گوناگون، حمل می‌کنند. هنگامی که حجم مواد در داخل کوره کم شود، شارژ (یعنی همان مواد اولیه) را که می‌تواند علاوه بر مواد بیان شده شامل آهن قراضه هم باشد، به داخل کوره می‌ریزند. این کار از بالا و توسط تجهیزات خاصی صورت می‌پذیرد.



شکل ۲-۷

## تولید آهن خام به روش احیاء مستقیم

در سال‌های اخیر، برای ذوب و تصفیه سنگ آهن از کوره‌های مخصوصی استفاده می‌شود که عمل احیاء به صورت مستقیم انجام می‌شود. سوخت‌های مورد استفاده در آن‌ها، ممکن است جامد (کک) و یا گاز باشد. در کشورهایی مانند ایران که دارای منابع گاز طبیعی هستند، می‌توان با سرعت بیشتر و هزینه کمتر، سنگ آهن را به آهن خام تبدیل کرد و اتوماتیک کردن و کنترل تأسیسات آن به مراتب ساده‌تر از کوره بلند است. در این روش، احیای سنگ آهن بدون ذوب انجام می‌شود و آهن خامی که از این نوع کوره‌ها به دست می‌آید، آهن

اسفنجی نام دارد که حدود ۹۵ درصد آهن خالص دارد. هم‌اکنون در شرکت فولاد مبارکه اصفهان با ظرفیت ۴/۲ میلیون تن تولید می‌شود. (جدول ۲-۲)

آهن خام تولیدشده در کوره بلند و همچنین آهن اسفنجی حاصل از احیاء مستقیم می‌تواند با انجام فرایندهای بعدی به فولاد تبدیل شود. این فرایند با

جدول ۲-۲ وضعیت تولید فولاد خام واحدهای فولادسازی کشور از نقطه‌نظر فن‌آوری تولید (میلیون تن)

ردیف	نام مرکز	ظرفیت	نوع فن‌آوری
۱	ذوب آهن اصفهان	۲/۲	کوره بلند
۲	مجتمع فولاد مبارکه	۴/۲	احیاء مستقیم
۳	مجتمع فولاد اهواز	۲/۳	احیاء مستقیم
۴	گروه ملی صنعتی فولاد	۰/۱۱	قوس الکتریک (ذوب)
۵	فولاد خراسان (دردست احداث)	۰/۴۶	احیاء مستقیم (در دست احداث)
۶	طرح‌های استانی (دردست احداث)	۶/۴	احیاء مستقیم (در دست احداث)
۷	فولاد هرمزگان (در دست احداث)	۰/۵	احیاء مستقیم (دردست احداث)
۸	فولاد آلیاژی	٪۱۹	احیاء مستقیم
۹	واحدهای بخش خصوصی	حدود ۰/۵	کوره بلند ذوب قراضه

حذف کربن اضافی موجود در آنها و افزودن عناصر آلیاژی دیگر (در صورت لزوم) در کوره‌های دیگری مانند کوره القایی، کوره قوس الکتریکی یا روش‌های L-D<sup>۱</sup> شکل (۲-۸) و زیمنس مارتین انجام می‌پذیرد.

هر کدام از روش‌های فوق برای تولید فولادهای فنر با استحکام بالا و فولادهای ابزار آلیاژی استفاده می‌شود.



شکل ۲-۸ کوره L-D یکی از روش‌های تولید فولاد.

## فولاد:

همان‌طور که گفته شد، آهن خالص در صنعت کاربردی ندارد. تنها با آلیاژسازی و تولید آلیاژهای متنوع می‌توان از این عنصر استفاده کرد. در این خصوص مهم‌ترین عنصر آلیاژی که بر استحکام آن تأثیر عمده‌ای دارد کربن است. در یک بیان کلی

۱. حروف L-D حرف اول اسم دو دانشمند مخترع این روش به نام‌های Liza و Donawitz

می‌توان گفت آلیاژهایی از آهن که دارای درصد کربن وزنی کم‌تر از ۲/۰۶ درصد در محتوی خود هستند را فولاد می‌نامند. (شکل ۹-۲) و آلیاژهای آهن که بین ۲/۰۶ تا ۶/۶۷ درصد وزنی کربن دارند، را چدن می‌نامند. (شکل ۱۰-۲) از زمان انقلاب صنعتی تا امروز، یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی در کشورها تولید سرانه فولاد می‌باشد و قدرت اقتصادی و صنعتی یک کشور را با میزان تولید و مصرف این آلیاژ مهم برآورد می‌کنند. در کشور ما ایران، با توسعه کارخانه‌های ذوب آهن و افزایش تولید آهن خام و ایجاد کارخانه‌های فولادسازی و همچنین تولید محصولات فلزی مانند لوله‌سازی، ورق‌سازی، پروفیل و غیره در چند دهه گذشته پیشرفت‌های زیادی به‌دست آمده است. (شکل‌های ۱۱-۲ تا ۱۴-۲) افزودن کربن به فولاد تا اندازه‌ای، باعث افزایش استحکام آهن شده و می‌توان گفت هر چقدر درصد کربن موجود در فولاد بیشتر شود، در حقیقت استحکام فولاد افزایش خواهد یافت.

در این‌جا لازم است، بیان شود که افزایش استحکام همواره با کاهش انعطاف‌پذیری و افزایش تردی همراه است، لذا انتخاب فولادها به نوع کاربرد این مواد بستگی دارد.

با افزودن عناصر آلیاژی دیگر به فولادهای کربنی ساده، می‌توان خواص دیگری همچون نسوز بودن، مقاومت به خوردگی، افزایش سختی و استحکام را در آن‌ها ایجاد کرد. به این‌گونه فولادها، فولادهای آلیاژی گفته می‌شود.

### کوره القایی:

کوره‌ای که در آن به کمک یک سیم‌پیچ بزرگ با القای جریان مغناطیسی مواد داخل کوره را ذوب می‌کند. از مزیت‌های این کوره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. (شکل ۱۵-۲)

- مذاب بدون ناخالصی است
- بهروزی بالا
- کنترل دقیق مراحل تولید مذاب

### کوره قوس الکتریکی:

برای تولید فولادهای مقاوم در مقابل حرارت و خوردگی، از کوره‌ای به نام



شکل ۹-۲ سندان از جنس فولاد



شکل ۱۰-۲ درب چاه‌های شهری از چدن



شکل ۱۱-۲ کارخانه ذوب آهن



شکل ۱۲-۲ کارخانه فولاد مبارکه



شکل ۱۳-۲ فولاد خوزستان





شکل ۱۴-۲ فولاد خراسان



شکل ۱۵-۲ کوره القایی



شکل ۱۶-۲ کوره قوس الکتریکی

قوس الکتریکی استفاده می‌کنیم. این کوره با جریان برق سه‌فاز کار می‌کند و به کمک سه الکتروود گرافیتی، جریان عبوری موجب ایجاد قوس الکتریکی می‌شود و درجه حرارتی تا ۳۵۰۰ درجه سانتی‌گراد را به وجود می‌آورد. با این درجه حرارت حتی می‌توان فلزات دیرگدازی همچون تنگستن، تانتال و مولیبدن را نیز ذوب و با فولاد آلیاژ کرد. امروزه فولادهای فنر با استحکام زیاد و فولادهای ابزارسازی آلیاژ را از این روش تولید می‌کنند (شکل ۱۶-۲).

### طبقه‌بندی فولادها

فولادها را می‌توان از نقطه نظر کاربرد، ترکیب شیمیایی و یا شیوه تولید، طبقه‌بندی کرد. ولی همان‌طور که بیان شد به دلیل آن‌که کربن عمده‌ترین تأثیر را بر فولاد دارد، تقسیم‌بندی‌ها بیشتر بر اساس میزان کربن موجود در فولادها صورت می‌پذیرد.

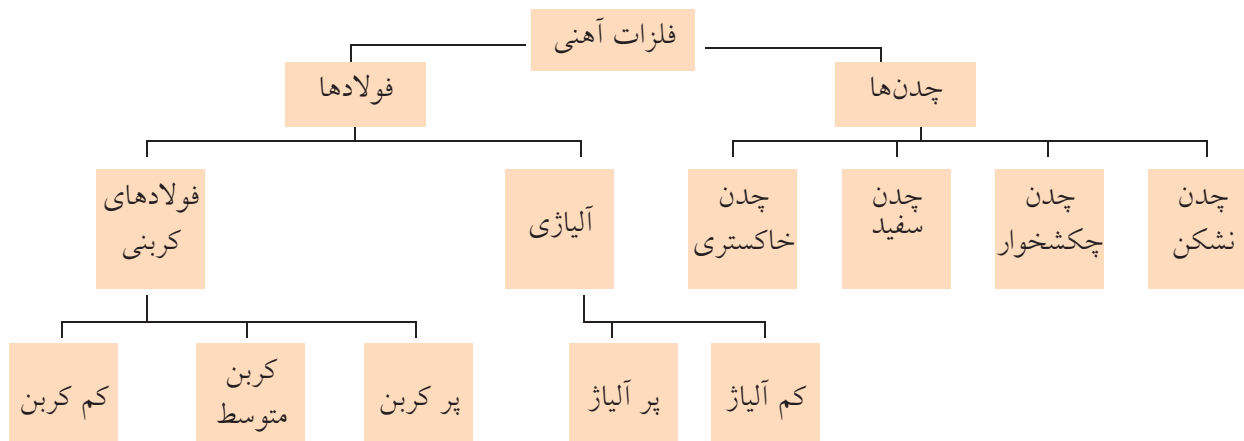
در حقیقت اصطلاح فولاد کربنی ساده به فولادهایی گفته می‌شود که در آن‌ها کربن بیش از هر عنصر دیگری در تعیین خواص آن دخیل است و میزان عناصر آلیاژی دیگر در آن کم است.

در عمل، در مواردی که به استحکام و خواص مکانیکی نیاز نباشد، از فولادهای کربنی ساده استفاده خواهد شد. این نوع از فولادها به خوبی در دماهای معمولی و در محیط‌های نه‌چندان خورنده، به طور مطلوبی به کار می‌روند، ولی افزایش استحکام در این نوع فولادها با کاهش شدید ضریب انبساطی طولی همراه است. ضمن آن‌که فولادهای کربنی ساده با افزایش دما بسیار نرم می‌شوند و خواص مکانیکی خود را از دست می‌دهند. این رفتارها محدودیت‌هایی را در کاربرد این نوع فولادها ایجاد کرده است. بیشتر محدودیت‌های این گونه فولادها را می‌توان با افزودن عناصر آلیاژی برطرف ساخت. فولادهای آلیاژی، فولادهایی هستند که خواص مشخصه آن‌ها (مثل نسوز یا ضد زنگ بودن) را عناصر دیگری به جز کربن تعیین می‌کند. فولادها را می‌توان بر اساس میزان درصد عناصر آلیاژی آن‌ها، به فولادهای آلیاژی و غیر آلیاژی تقسیم‌بندی کرد.

تقسیم‌بندی ارائه شده در نمودار ۴-۲ بر همین مبنی انجام شده است. توجه داشته باشید که در این تقسیم‌بندی، فولادهای غیر آلیاژی بر اساس مقدار کربنشان به فولادهای کم کربن، با کربن متوسط و پر کربن تقسیم‌بندی شده‌اند. فولادهای

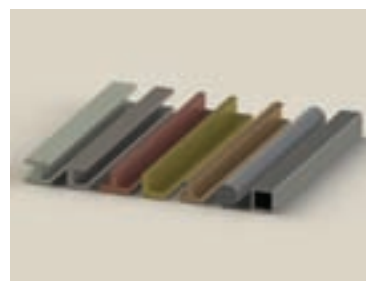
غیرآلیاژی را فولادهای ساده کربنی نیز می‌نامند. فولادهای آلیاژی نیز براساس مقدار درصد آلیاژ به فولادهای کم آلیاژ و پرآلیاژ تقسیم‌بندی شده‌اند.

نمودار ۴-۲: نمودار آلیاژهای فلزی



#### نکته

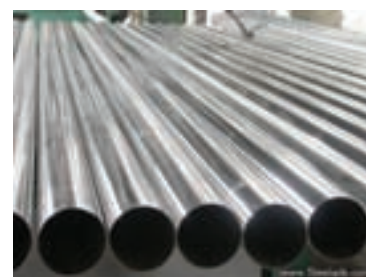
فولادهای غیرآلیاژی از ۰/۰۶ تا ۱/۵ درصد کربن دارند. سایر عناصر موجود در فولادهای غیرآلیاژی، مانند سیلیسیم و گوگرد و منگنز بسیار محدود است. چنانچه مجموع درصد وزنی عناصر موجود در فولاد آلیاژی از ۵ درصد کم‌تر باشد، آنرا فولاد کم‌آلیاژ و چنانچه از ۵ درصد بیشتر باشد فولاد پرآلیاژ می‌نامند.



شکل ۱۷-۲

#### فولادهای کم کربن

این گروه از فولادها حاوی کربن کم‌تر از ۰/۲۵٪ در ساختار خود هستند در صنعت، این فولادها به فولادهای کششی معروف هستند. به علت اینکه ازدیاد طول نسبی بالاتری دارند بیشتر به صورت ورقه‌های نازک تولید می‌شوند و گاهی به صورت سیم و یا مفتول به کار می‌روند. و قابلیت عملیات حرارتی را ندارند. برای سخت کردن این فولادها لازم است از فرایندهای سخت‌کنندگی سطحی یا چکش‌کاری استفاده کنیم. این گروه بیشترین میزان تولید فولاد در جهان را به‌خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که می‌دانیم، هر چه میزان کربن در فولاد کمتر باشد جوش‌پذیری فولاد بیشتر است، بنابراین همان‌طور که انتظار می‌رود، این فولادها قابلیت ماشین‌کاری و جوشکاری خوبی دارند و



شکل ۱۸-۲ ورق لوله



شکل ۱۹-۲ شاسی خودرو



شکل ۲۰-۲ لوله‌های انتقال سیال



شکل ۲۱-۲ انواع پیچ‌های اتصال



شکل ۲۲-۲

جوشکاری و لحیم‌کاری در آن‌ها به راحتی صورت می‌گیرد. علاوه بر این، تولید این فولادها پیچیدگی خاصی ندارد و به همین دلیل بسیار مورد توجه هستند. از جمله می‌توان به کاربرد این فولادها در صنایع خودروسازی، سازه‌های فلزی (تیرآهن‌ها، نبشی‌ها و غیره)، ورق‌های تولید لوله در ساختمان‌ها و پل‌ها اشاره کرد. استحکام این فولادها در حدود  $300\text{ MPa}$  است و افزایش طولی در حدود  $1/4$  طول اولیه خود دارند. شکل (۱۷-۲) تا (۲۰-۲) گروه دیگر این فولادها با آلیاژسازی، استحکام‌های بیشتری را باعث می‌شوند. این فولادها توانمندی عملیات حرارتی، استحکام زیاد و سختی قابل قبولی دارند. مقاومت به خوردگی نیز در آن‌ها توسط آلیاژسازی بهبود یافته است.

### فولاد با کربن متوسط

این نوع فولادها حاوی  $0/25$  تا  $0/65$  درصد وزنی کربن در ساختار خود هستند. قابلیت عملیات حرارتی کم و استحکام متوسطی دارند. به منظور افزایش استحکام و افزایش قابلیت عملیات حرارتی در این فولادها، آلیاژسازی صورت می‌پذیرد. این فولادها در کاربردهایی همچون تولید ریل‌های راه‌آهن، چرخ‌دنده‌ها، میل‌لنگ خودروها و انواع پیچ‌های اتصال اجزاء ماشین کاربرد دارند (شکل‌های ۲۱-۲ تا ۲۴-۲).



شکل ۲۳-۲



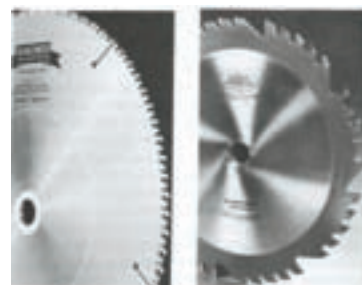
شکل ۲۴-۲

### فولادهای پرکربن

چنانچه درصد وزنی کربن در ساختار یک فولاد بین  $0/6$  تا  $1/4$  باشد، فولاد را فولاد پرکربن می‌نامیم. این فولادها دارای بیشترین سختی و استحکام در میان فولادهای کربنی غیرآلیاژی هستند. مقاومت به سایش این گروه از فولادها بسیار زیاد است و از آن‌ها برای تولید تیغه‌های برش که در آن‌ها دمای زیادی تولید



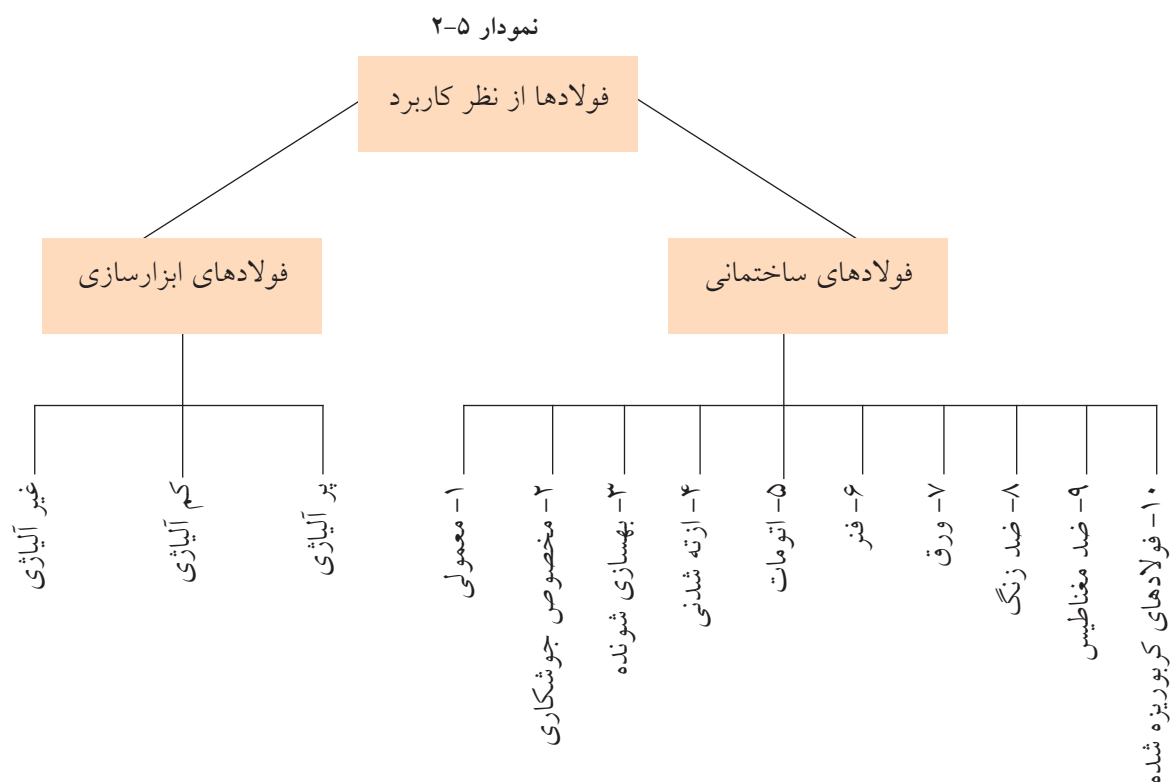
نمی‌شود، استفاده می‌شود. عملیات حرارتی در این فولادها در ایجاد خواصی مانند سختی و مقاومت به سایش بیشترین اثر را دارد. این فولادها، دارای قابلیت جوش‌پذیری خیلی ضعیف هستند چرا که حاوی بیشترین مقدار کربن در ساختار خود هستند. از کاربردهای فولادهای پرکربن می‌توان در ایجاد لبه تیز کاردها، تیغ‌ها، تیغه‌اره‌ها و فنرها اشاره کرد (شکل ۲۵-۲).



شکل ۲۵-۲ کاربردهای فولادهای پرکربن

## تقسیم‌بندی فولادها از نظر کاربرد

فولادها از نظر کاربرد به نوع فولاد ساختمانی و فولاد ابزارسازی تقسیم می‌شوند (نمودار ۵-۲).



حدود ۹۰ درصد از محصولات کارخانه‌های فولادسازی به فولادهایی اختصاص دارد که مواد اولیه برای ساختمان اسکلت‌های فلزی، پل‌ها، ساختمان اجزای وسایل نقلیه، دستگاه‌ها، ماشین‌آلات، پیچ و مهره، میله و محور، یاتاقان و از این‌گونه محصولات است که به فولاد ساختمانی معروف هستند (شکل ۲۶-۲).



شکل ۲۶-۲ جرثقیل

## فولاد ساختمانی معمولی

این فولاد جزء فولادهای غیرآلیاژی محسوب می‌شود و در سه گروه با درجه مرغوبیت ۱ و ۲ و ۳ تولید و به بازار عرضه می‌شود.

◀ **کاربرد:** نرده‌ها، توری‌ها، فولادهای تسمه، سازه‌های فولادی برخی از اجزاء ماشین، قطعات با تنش بالا، جرثقیل‌ها و پل‌های فولادی.



شکل ۲۷-۲ شاسی خودرو

## فولادهای مخصوص جوشکاری

این نوع فولاد قابلیت خوبی برای جوشکاری دارد (شکل ۲۷-۲).

◀ **کاربرد:** شاسی خودرو، تأسیسات نقاله، آگزوز و مخازن تحت فشار.

## فولاد سخت کاری شونده سطحی (کربوریزه):

این نوع فولاد برای ساخت قطعاتی که دارای سختی سطحی اما با مغز نرم مورد نیاز است به کار می‌رود. برای این منظور مقدار کربن آنها را که کم‌تر از ۰/۲ درصد است در سطح خارجی، افزایش می‌دهند (شکل ۲۸-۲).

◀ **کاربرد:** توپی‌ها، مفصل‌ها، پین‌ها و انگشتی‌ها، میل بادامک، چرخ‌دنده‌ها و وسایل اندازه‌گیری



شکل ۲۸-۲ میل بادامک

## فولاد بهسازی شونده

این نوع فولاد برای ساخت قطعاتی که در معرض ضربه و برخورد قرار دارند، استفاده می‌شود (شکل ۲۹-۲).

◀ **کاربرد:** میل‌لنگ‌ها، محور لنگ پرس‌های ضربه‌ای و محور وسایل نقلیه، میل‌گاردان.



شکل ۲۹-۲ میل‌لنگ

## فولاد ازته شده (نیتروژنه):

این نوع فولاد در ساخت قطعاتی که در هنگام عملیات نباید پیچیدگی پیدا کنند، به کار می‌رود و عناصری همچون مولیبدن، کروم و آلومینیم در آن یافت می‌شود. این عناصر، قابلیت جذب ازت را در فولاد افزایش می‌دهند و می‌توان سطح آنها را به وسیله جذب ازت، سخت کرد (شکل ۳۰-۲).

◀ **کاربرد:** سوپاپ خودروهای سواری، قطعات توربین بخار، شاتون‌ها و محورهای بزرگ.



شکل ۳۰-۲ سوپاپ

## فولاد اتومات

در هنگام براده‌برداری از این نوع فولاد به علت وجود گوگرد در ترکیب آن، براده‌های کوتاه جدا می‌شود و سطح خوبی را به وجود می‌آورد. به همین دلیل به این گونه فولادها، فولادهای خوش تراش نیز می‌گویند. استفاده از فولادهای اتومات برای جوشکاری و تغییر فرم سرد و قرار دادن در معرض ضربه، توصیه نمی‌شود. (شکل ۲-۳۱)

◀ **کاربرد:** مواد خام برای براده‌برداری در دستگاه‌های براده‌بردار خودکار



شکل ۲-۳۱ قطعه در حال تراش بدون براده‌برداری

## فولاد فنر

این نوع فولاد، علاوه بر استحکام کششی زیاد، باید خاصیت الاستیسیته خوبی هم داشته باشد و در برابر سایش و ارتعاش نیز مقاوم باشد. وجود سیلیسیم در فولاد فنر، خاصیت الاستیسیته و وجود کروم استحکام و مقاومت در مقابل خوردگی را افزایش می‌دهد (شکل ۲-۳۲).

◀ **کاربرد:** انواع فنر همانند فنزهای تخت، مخروطی، بشقابی، استوانه‌ای، حلقه‌های فنری و صفحات فنری.



شکل ۲-۳۲ فنر

## فولاد ورق

این نوع فولاد در صنعت کاربرد فراوانی دارد و در گروه‌های خیلی ظریف سفید و ظریف، متوسط، خشن و ورق دیگ‌سازی تولید می‌شوند. ورق‌های خیلی ظریف و سفید را با ضخامت کمتر از ۰/۵ میلی‌متر تولید می‌کنند. ورق‌های سفیدی که در ایران به حلبی معروفند، قشر نازکی از قلع دارند.

نکته

افزایش کم‌تر از ۰/۳ درصد سرب در ترکیب فولادهای اتومات موجب شکنندگی بیشتر براده و افزایش مرغوبیت سطح براده‌برداری می‌شود.

ورق‌های ظریف	کد فولاد
ورق‌هایی با قابلیت کشش معمولی	St10
ورق‌هایی با قابلیت کشش خوب	St12
ورق‌هایی با قابلیت کشش عمیق	St13
ورق‌هایی با قابلیت کشش خیلی خوب	St14

- ◀ کاربرد ورق‌های ظریف: تسمه و ورق با قابلیت جوش نقطه‌ای و درزی
- ◀ کاربرد ورق‌های متوسط و خشن: تولیدات صفحه شکل، تسمه‌ها
- ◀ کاربرد ورق‌های دیگ‌سازی: مخازن تحت فشار، تأسیسات دیگ بخار

## فولادهای ضدزنگ

دسته‌ای از فولادها هستند که مقاومت بسیار زیادی در برابر خوردگی در شرایط مختلف محیطی، به‌ویژه در هوای مرطوب را دارند، هرچند کاربرد آن‌ها به مقاومت در برابر خوردگی ناشی از مجاورت با رطوبت محدود شده، ولی لازم است اشاره شود که این نوع فولادها در برابر بیشتر محیط‌های خورنده مثل محیط‌های اسیدی، بازی و دیگر محیط‌های فعال خوردگی، مقاوم هستند و دچار خوردگی نمی‌شوند. عناصر اصلی ایجادکننده خاصیت ضدخوردگی در این فولادها کروم، نیکل و مولیبدن هستند. به فولادهای ضدزنگی که برای ظروف و مواد غذایی استفاده می‌شود، مقداری مس برای جلوگیری از بوی بد فولاد اضافه می‌شود.



شکل ۲-۳۳



شکل ۲-۳۴



نکته

در فولادهای ضدزنگ، کروم یا کروم نیکل نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و مقدار کروم موجود در آن‌ها نباید از ۱۳ درصد کم‌تر باشد.

در شکل‌های ۲-۳۳ و ۲-۳۴ کاربردهای گوناگون فولادهای زنگ‌نزن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۳۵ کاربرد فولادهای نسوز در تولید توربین‌های گازی

عده دیگری از فولادهای ضد زنگ، به‌دلیل مقاومت بسیار زیادشان در برابر حرارت‌های بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، چرا که در چنین درجه حرارت‌هایی، به اکسایش مقاوم هستند و خواص مکانیکی خود را تا حد مطلوبی به علت وجود کروم حفظ می‌کنند. این فولادها را با نام فولادهای نسوز هم می‌شناسند. از جمله کاربردهای این فولادها می‌توان به توربین‌های گازی، بویلرها و کوره‌های عملیات حرارتی اشاره کرد (شکل ۲-۳۵).

## فولاد ضد مغناطیس

در ترکیب این نوع فولادها منگنز زیادی وجود دارد. فولادهای ضد مغناطیس را می‌توان در حالت سرد به خوبی فرم داد. شکل (۲-۳۶)

◀ کاربرد: ساختن کارد و چنگال، ظروف تزئینی، محفظه قطب‌نما، قاب ساعت.



شکل ۲-۳۶

## فولادهای ابزار

فولادهای ابزار به فولادهایی گفته می‌شود که در ساختن ابزارهای براده‌برداری و برش (مانند مته، حدیده، فلاویز، قیچی و سنبه ماتریس) و ابزارهای تغییر فرم بدون براده‌برداری (مانند چکش، تیغه‌های دستگاه خم‌کن، قالب‌های کوره‌کاری و ریخته‌گری) استفاده می‌شود. در این فولادها از میان خواص مکانیکی بیشتر قابلیت برش و سختی اهمیت دارد. این فولادها را برحسب درصد عناصر موجود در آنها به فولادهای ابزارسازی کرم، وانادیم، تنگستن-نیکل و مولیبدن هستند. در فولادهای ابزار غیر آلیاژی در صد کربن ۰/۵ تا ۱/۵ درصد است. شکل (۲-۳۷ تا ۲-۴۰)



شکل ۲-۳۷

با توجه به اینکه دمای کاری مورد استفاده در فولادهای ابزارسازی متفاوت است، برحسب دمای مورد استفاده به فولادهای سردکار و گرم‌کار نیز تقسیم‌بندی می‌شوند. فولادهای سردکار، مقاومت خوبی در مقابل ضربه، فشار و ساییدگی دارند. فولادهای گرم‌کار دارای استحکام مکانیکی و دوام برندگی در دماهای بالا هستند. با این فولادها می‌توان قطعات فولادی را در حالت گرم، تیغه فرم داد. جدول چند نمونه از فولادهای ابزار را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴۰ ابزارهای برش از فولادهای ابزار ساخته می‌شود که بیشتر از فولادهای ابزارهای سردکار هستند.



شکل ۲-۳۹ یکی از کاربردهای مهم فولادهای گرم‌کار در فرایند فورج (آهن‌گری) است.



شکل ۲-۳۸

نکته

وجود تنگستن در فولادهای ابزار پرآلیاژ موجب می شود این فولادها سختی خود را تا دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد حفظ کند.

نکته

فولادهای ابزارسازی پرآلیاژ خاص براده برداری به فولادهای تندبر معروف اند.

نکته

برای مقرون به صرفه بودن، تولید فولادهای ابزار خاص براده برداری، آن ها را به صورت تکه های کوچک به بازار عرضه می کنند که باید روی بدنه ای از فولاد ساختمانی متصل شوند.  
شکل (۲-۴۱)



شکل ۲-۴۱

## عملیات حرارتی

در مراجعه به علم موادشناسی بارها از اصطلاح عملیات حرارتی استفاده می شود. در بیشتر کاربردهای مهندسی لازم است که پس از انجام فرایندهای ماشین کاری، شکل دهی و یا جوشکاری، خاصیت ویژه ای در قطعه کار تقویت یا حذف شود. (شکل ۲-۴۲) از عملیات حرارتی برای افزایش استحکام، سختی یا افزایش ضربه پذیری (چقرمگی) قطعات فلزی استفاده می شود. البته این تنها کاربرد عملیات حرارتی نیست، و بهبود خواص ماشین کاری و بهبود شکل پذیری قطعه در فرایندهای شکل دهی نیز از دیگر کاربردهای عملیات حرارتی است. نوع عملیات حرارتی که بر روی یک نوع فلز خاص صورت می پذیرد و کاملاً به جنس آن فلز وابسته است و اساساً هر نوع عملیات حرارتی را نمی توان روی هر نوع فلز آلیاژی انجام داد. در میان فلزات و آلیاژها، خانواده فولادها قابلیت عملیات حرارتی زیادی را از خود نشان می دهند و می توان خواص مختلف را



شکل ۲-۴۲ برای کارکرد صحیح، بهبود خواص و افزایش دوام قطعات، آن ها را عملیات حرارتی می کنند.





از طریق عملیات حرارتی در آن‌ها ایجاد کرد. یکی از مهم‌ترین دلایل کاربرد روزافزون فولادها در صنایع مختلف وجود همین خاصیت در آن‌هاست.

عملیات حرارتی عبارت است از مجموعه‌ای از گرم و سرد کردن برنامه‌ریزی شده قطعه، برای رسیدن به ترکیب و خواص مورد نظر.

مراحل انجام عملیات حرارتی عموماً شامل ۳ مرحله اساسی است. مرحله اول گرم کردن فولاد تا درجه حرارت مشخصی که بستگی به نوع عملیات حرارتی دارد. در این مرحله لازم است سرعت حرارت دادن بسته به نوع قطعه، کنترل شود. مرحله دوم قطعه در دما و زمان معینی در داخل کوره نگهداری می‌شود تا قطعه کاملاً همگن شود (شکل‌های ۲-۴۳ و ۲-۴۴). مرحله سوم، براساس خواص موردنظر، قطعه را به روش‌های مختلف سرد می‌کنند (آب‌دهی) که در ادامه به تشریح این روش‌ها می‌پردازیم.

### روش‌های عملیاتی حرارتی

از مهم‌ترین روش عملیات حرارتی، می‌توان به فرایند تنش‌زدایی - سخت کردن و نرم کردن اشاره کرد در این عملیات، با توجه به نوع روش می‌توان به خواص مورد نظر دست یافت.

### فرایند تنش‌زدایی

تنش پسماند به دلایل مختلف در قطعه ایجاد می‌شود. نورد، ریخته‌گری، آهنگری و جوشکاری از جمله منابع ایجاد تنش پس‌ماند در قطعه هستند. در فرایند تنش‌زدایی، قطعه در درجه حرارت  $0/1$  نقطه ذوبش گرم می‌شود. در این حالت باید قسمت‌های درون قطعه نیز به دمای مذکور برسد. سپس به آرامی قطعه تا دمای اطاق سرد می‌شود.

باید توجه داشت که تمام نقاط قطعه به طور یکنواخت سرد شود، خصوصاً در مورد قطعاتی که پیچیدگی ابعادی دارند.

### سخت کردن

گاهی اوقات لازم است برای رسیدن به خواص مورد نظر در فولاد آن را سخت کرد. بنابراین باید نحوه سرد کردن، کنترل و انتخاب شود. ضخامت پوسته مورد

عملیات حرارتی به فرایندهایی اطلاق می‌شود که در طی آن با گرم و سرد کردن کنترل شده قطعه کار، بدون آن‌که در قطعه کار تغییر شکلی ایجاد شود، خواص موردنظر را در آن ایجاد کرد.



شکل ۲-۴۳ کوره عملیات حرارتی کارگاهی



شکل ۲-۴۴ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی

نیاز برای سخت شدن باید با انتخاب صحیح جنس قطعه و محیط سرد کننده مناسب کنترل شود. به عنوان مثال، برای سخت کردن فولادهای ساده کربنی بیشتر از آب استفاده می‌شود. هر چه عناصر آلیاژی فولاد بیشتر باشد به محیط سردکننده ملایم‌تری نیاز دارد. هر چه محیط ملایم‌تر باشد احتمال تاب برداشتن و تغییر شکل قطعه در ضمن سرد شدن کمتر خواهد بود.



نکته

هر چه آهنگ سرد شدن در محیط سردکننده، کمتر باشد آن محیط، محیط سرد کننده ملایم‌تری است.

### محیط‌های سردکننده

#### الف) آب

آب یکی از محیط‌های سردکننده است. معمولاً درجه حرارت آب برای جلوگیری از ترک خوردن قطعه کار می‌تواند ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد. بعد از خارج کردن قطعه کار از کوره، سریعاً آن را داخل ظرف آب می‌اندازیم. حال می‌توانیم بعد از عملیات سطحی، سختی آن را دوباره اندازه بگیریم، ملاحظه می‌کنیم که سختی قطعه به اندازه زیادی افزایش یافته است. خطر ترک برداشتن قطعه در ضمن سریع سرد شدن در آب وجود دارد که می‌توان با خارج کردن سریع آن از آب در دمای ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و انتقال سریع آن به مخزن روغن این خطر را برطرف کرد.

#### ب) روغن

روغن در مقایسه با آب محیط سردکننده بسیار ملایم‌تری است. آهنگ سرد شدن در روغن در حوالی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، حداکثر بوده و به دلیل اینکه توانایی جذب گرما توسط روغن در مقایسه با آب نسبتاً کم است، استفاده از آن برای فولادهای کم‌آلیاژ تا آلیاژ متوسط، محدود به قطعات با ضخامت کم می‌شود. البته با ایجاد تلاطم در مخزن روغن و حرکت دادن قطعه می‌توان سردکنندگی روغن را افزایش داد. در روش دیگر برای افزایش قدرت سردکنندگی روغن،

#### آیا می‌دانید



حداکثر قدرت سردکنندگی آن در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است. با اضافه شدن ۱۰ درصد نمک طعام و یا بی‌کربنات دو سود به آب حداکثر قدرت سردکنندگی آن به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.



نکته

عملیات سریع سرد کردن را در اصطلاح کوینچ کردن گویند.

می‌توان آن را تا دمای ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، ابتدا گرم کرد. در این صورت ویسکوزیته روغن کاهش یافته و قدرت سردکنندگی آن نیز زیاد می‌شود.

### ج) پلیمرهای مذاب و گازهای خنثی

پلیمرهای مذاب و گازهای خنثی مانند هلیوم، آرگون، نیتروژن نیز به عنوان محیط‌های سردکننده در شرایط خاص استفاده می‌شود.

### سخت کردن سطحی فولادها

در بسیاری از قطعات مهندسی لازم است صرفاً لایه نازکی از سطح قطعه سخت شود. بیشتر این قطعات، قطعاتی هستند که در آن‌ها مقاومت به سایش و در کنار آن ضربه‌پذیری مناسب، از شرایط اصلی کارکرد آن‌هاست. برای مثال چرخ‌دنده‌های جعبه‌دنده خودرو به دلیل تداوم کارکرد، همواره تحت تأثیر بارهای ضربه‌ای و سایش و اصطکاک مداوم با یکدیگر هستند. در این شرایط لازم است لایه‌ای از سطح خارجی دندانه‌های آن‌ها سخت شود و همچنین قابلیت ضربه‌پذیری در مغز قطعه موجود باشد (شکل ۲-۴۵).



شکل ۲-۴۵ سختی سطح در چرخ‌دنده

برای سخت کردن سطحی فولادها روش‌های گوناگونی وجود دارد. در فولادهای با محتوای کربن کافی سخت‌کاری توسط شعله یا جریان القایی صورت می‌پذیرد (شکل ۲-۴۶). در هر دو این روش‌ها سطح انتخاب شده از قطعه که توسط طراح تعیین شده است، توسط شعله یا جریان القایی مغناطیسی گرم خواهد شد. مدت زمان گرم شدن، به عمق سختی و جنس قطعه بستگی دارد. بدین منظور قطعه را از فرایند مرحله اول و دوم عملیات حرارتی عبور می‌دهند و سپس آن‌را با سیال سردکننده مناسب سرد می‌کنند. بدین ترتیب سختی سطح قطعه در ناحیه خاص مورد نظر، اعمال می‌شود و دیگر نواحی قطعه به همان ترتیب و ساختار حالت قبل از عملیات حرارتی نرم باقی خواهد ماند.



شکل ۲-۴۶ سختی سطحی به روش القایی

نکته

به عنوان مثال، فولاد CK۴۵ که توسط روش القایی، سخت گردیده است، عملاً سختی ۳/۲ میلی‌متر بوده و از آن در چرخ‌دنده‌ها، میل‌گردان‌ها، میل‌بادامک‌ها و پایین‌های سرمحور استفاده می‌شود.



شکل ۴۷-۲ روکش کروم برای بهبود خواص خوردگی و مقاومت گرمایی قطعات فلزی، به ویژه فولاد.

در روش‌های دیگر سخت کردن سطوح، که بیشتر برای فولادهای کم کربن به کار برده می‌شود، قطعه کار گرم شده را در مجاورت کربن قرار می‌دهند. کربن در این حالت می‌تواند به صورت جامد زغال یا گاز منواکسید کربن باشد. بدین ترتیب درصد کربن در سطوح خارجی قطعه زیاد خواهد شد، که پس از سرد کردن قطعه و عملیات آب دادن، سختی مورد نظر در سطح خارجی قطعه ایجاد خواهد شد. عناصر دیگری همچون نیتروژن نیز اثرات مشابهی بر سطوح قطعه باقی خواهند گذاشت و علاوه بر افزایش سختی، مقاومت به خوردگی و سایش جلای ظاهری خوبی هم به قطعه خواهند داد. شکل (۲-۴۷)

## چدن‌ها

چدن‌ها خانواده‌ای از آلیاژهای آهنی با خواص کاملاً متنوعی هستند که به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند و مهم‌ترین وجه تمایز فولاد و چدن در شکل‌پذیری فولاد توسط فرایندهای شکل‌دهی فلزات است که در مورد چدن‌ها این امکان وجود ندارد. از نقطه نظر ترکیب آلیاژی، همان‌طور که بیان شد فولادها از ترکیب آهن با حداکثر ۲/۰۶ درصد کربن تولید می‌شوند. مقدار کربن چدن بین ۲/۰۶ تا ۶/۶۷ درصد وزنی است، ولی چدن‌ها با ترکیب بیش از ۴/۵ درصد وزنی کربن بسیار شکننده هستند.

کربن در چدن‌ها به صورت کاربید آهن  $Fe_3C$  وجود ندارد و در ساختار چدن‌ها کربن را به صورت پایدارترین شکل آن، یعنی گرافیت می‌یابیم. شکل و نحوه رسوب گرافیت در چدن‌ها منشأ خواص گوناگون در این آلیاژ آهن است. در چدن، علاوه بر کربن، عناصر آلیاژی دیگری را برای کنترل ترکیب شیمیایی و ساختار میکروسکوپی اضافه می‌کنند تا خواص متنوع مورد نظر را ایجاد کنند. چدن‌ها دارای مزایای گوناگونی هستند که برخی از این مزایا عبارت‌اند از:

- ▶ چدن‌ها آلیاژهای بسیار ارزان قیمتی هستند و برای تولید آن‌ها فناوری خاصی لازم نیست، لذا قیمت تمام شده آن‌ها کم است.
- ▶ چدن‌ها در حالت مذاب دارای سیالیت بالایی هستند، از همین رو ریخته‌گری آن‌ها بسیار ساده است و می‌توان مقاطع پیچیده و نازک قطعات را توسط آن‌ها ریخته‌گری کرد.

## آیا می‌دانید

شکل‌دهی فلزات به فرایندهایی اطلاق می‌شود که در طی آن‌ها با اعمال نیرو بر قطعات گداخته یا سرد از فلزات، آن‌ها را به شکل دلخواه درمی‌آورند. برای مثال در طی فرایند فرج، قطعه گداخته میان دو کفه فشرده می‌شود تا قطعه به شکل مورد نظر حاصل آید.

ولی مقاومت به سایش و استحکام کششی چدن‌ها چندان زیاد نیست. اساساً چدن را می‌توان از آهن خام که محصول کوره بلند است به‌دست آورد. بدین‌منظور آهن خام را به همراه قراضه‌های آهنی به همراه گل (سوخت) و آهک (کمک ذوب) در کوره‌های خاصی با نام کوره کوپل ریخته و ذوب می‌کنند تا ترکیب چدن مورد نیاز در آن به‌دست آید. مذاب تولید شده در این حالت را برای ریخته‌گری قطعات مختلف چدنی، درون قالب‌های ویژه می‌ریزند، تا پس از سرد شدن قالب با شکستن آن، قطعه موردنظر را از درون آن خارج سازند (شکل ۲-۴۸).

ساختمان و خواص چدن‌ها بسیار متنوع است، با این وجود می‌توان آن‌ها را به گروه‌های زیر طبقه‌بندی کرد:

- ▶ چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای GG
- ▶ چدن خاکستری با گرافیت کروی GGG
- ▶ چدن سخت GH
- ▶ چدن چکش‌خوار GT

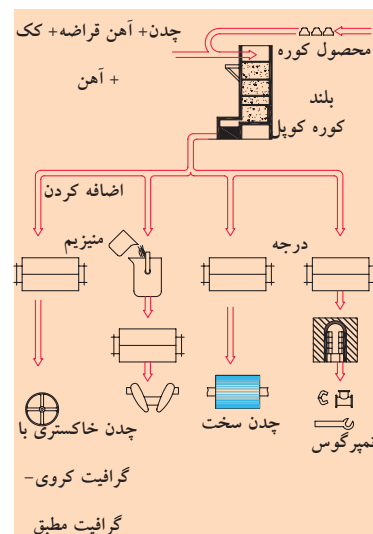
برای تولید چدن‌های فوق، روش تولید آن‌ها در نوع مواد افزودنی و نیز نحوه سرد کردن چدن‌ها مؤثر است.

در ادامه به معرفی و ویژگی‌های هر یک از انواع چدن‌ها اشاره می‌شود.

### چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای

چدن خاکستری در صنعت از تمامی آلیاژها و فلزات ریخته‌گری مصرف بیشتری دارد. در حقیقت منشأ این نام‌گذاری، رنگ سطح مقطع شکست این آلیاژ است، چرا که به‌دلیل وجود کربن زیاد در این آلیاژ سطح مقطع آن به رنگ خاکستری است (شکل ۲-۴۹).

گرافیت‌ها در این چدن به‌صورت ورقه‌ای تشکیل می‌شوند. شکل گرافیت در این چدن، باعث ایجاد ویژگی‌های خاصی مانند، مقاومت ارتعاش خوب در این آلیاژ می‌شود، به‌طوری‌که بیشتر از این آلیاژ در مصارفی استفاده می‌شود که به مستهلک کردن ارتعاش نیاز است. وجود گرافیت به شکل ورقه‌ای این آلیاژ را به‌شدت در برابر کشش حساس می‌کند و لازم است در کاربردهایی که چدن خاکستری تحت کشش و ضربه قرار می‌گیرد با احتیاط عمل شود.



شکل ۲-۴۸



شکل ۲-۴۹ چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای



چنانچه چدن خاکستری در هنگام تولید با سرعت بالایی سرد شود و مقدار منگنز آن زیاد باشد، مقدار گرافیت آن کم خواهد بود. برعکس اگر در هنگام تولید چدن خاکستری، سرعت سرد شدن کم باشد و مقدار سیلیسیم افزایش یابد، مقدار گرافیت آن زیاد می‌شود.



شکل ۲-۵۰ پایه یک ماشین ابزار از جنس چدن خاکستری

وجود گرافیت در چدن خاکستری قابلیت براده‌برداری را افزایش می‌دهد و ضریب اصطکاک را کم می‌کند. از این آلیاژ برای تولید قطعات سنگین، مانند بدنه ماشین‌آلات صنعتی (به دلیل سهولت بیشتر در ریخته‌گری)، ابزار کشاورزی، لوازم و اثاثیه منزل، قطعات خودرو و پایه ماشین ابزار استفاده می‌شود (شکل‌های ۲-۵۰ و ۲-۵۱).

### چدن خاکستری با گرافیت کروی

در این نوع چدن، گرافیت به صورت ورقه‌ای در چدن وجود ندارد، بلکه به شکل کروی است. برای تولید چدن خاکستری با گرافیت کروی باید به چدن مذاب آلیاژ نیکل - منیزیم یا آلیاژ سیلیسیم - آهن منیزیم اضافه شود سبب افزایش قابلیت انبساط، خم کاری و استحکام در این چدن ۳ تا ۵ برابر چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای خواهد شد. این چدن به چدن داکتیل نیز معروف است. این چدن به دلیل ویژگی‌های اشاره شده، در تهیه سیلندر، پوسته پمپ، چرخ لنگ، توربین‌ها، محفظه جعبه‌دنده‌ها و قرقره‌ها کاربرد دارد (شکل‌های ۲-۵۲ و ۲-۵۳).



شکل ۲-۵۱



شکل ۲-۵۲ توربین



شکل ۲-۵۳ محفظه جعبه‌دنده



## چدن سخت

کربن در چدن‌های سخت به صورت گرافیت وجود ندارد و به صورت ترکیب شیمیایی با آهن  $Fe_3C$  یافت می‌شود. براده‌برداری از چدن‌های سخت بسیار دشوار است و برای این منظور باید از ابزارهایی با جنس فلزات سخت (الماسه) و سنگ‌های سنباده استفاده کرد.



نکته

از ویژگی‌های دیگر چدن سخت، مقاومت در برابر سایش است. این ویژگی به علت سریع سرد شدن در قالب و سخت شدن سطح قطعه حاصل می‌شود.

ساخت چرخ‌های واگن، پیستون‌های هیدرولیکی و انواع نوردها از جمله موارد کاربرد چدن سخت است (شکل‌های ۲-۵۴ و ۲-۵۵).



شکل ۲-۵۴ چرخ‌های واگن

## چدن چکش‌خوار

آهن خام سفید را به همراه درصد معینی از کربن، سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد در کوره کوپل یا کوره الکتریکی ذوب، و پس از ریختن آن در قالب سرد می‌کنند. سپس قطعات ریخته‌شده را در کوره‌های مخصوصی به مدت چند روز حرارت می‌دهند تا ویژگی‌هایی همچون افزایش استحکام کششی، افزایش قابلیت کوره‌کاری و انعطاف‌پذیری و کاهش شکنندگی در آن ایجاد شود. چدن‌های چکش‌خوار از قابلیت براده‌برداری خوبی برخوردارند و می‌توان آن‌ها را بهسازی و لحیم‌کاری کرد.



شکل ۲-۵۵



نکته

چدن چکش‌خوار، به چدن تمپرگوس و مالیل نیز معروف است.

## استانداردهای نرم‌بندی آلیاژهای آهن

همانند تمامی قطعات و فرایندهای مهندسی، مواد نیز دارای استانداردهای خاص خود هستند. هنگامی که یک تولیدکننده ماده‌ای را مطابق با یک استاندارد تولید می‌کند، لازم است تمامی بندها و مفاد استاندارد را برای تولید ماده موردنظر رعایت کند. از این رو دیگر لازم نیست که مصرف‌کننده برای به‌کارگیری آن ماده، آزمایش‌ها و مراحل خاصی را جهت اطمینان یافتن از کیفیت ماده موردنظر انجام دهد، زیرا موسسه استاندارد تضمین می‌کند که ماده تولید شده، تمامی خواص موردنیاز و تصریح شده در مفاد استاندارد را دارد. شماره‌گذاری مواد، روشی است برای بیان خواص مواد، بدون آن‌که به تحلیل یا دانستن تمام خواص شیمیایی آن ماده خاص نیاز باشد. از همین روست که تمامی استانداردهای مصوب بین‌المللی، فولادها را که مهم‌ترین عنصر تولید در صنعت هستند، طبقه‌بندی و کدگذاری کرده است. چنانچه مصرف‌کننده به دانستن ترکیب شیمیایی یا خواص ویژه‌ای از یک فولاد نیاز داشته باشد، می‌تواند با مراجعه به کتاب‌های مرجع که بدین منظور تدوین شده‌اند، آن‌را در جداول آلیاژی فولاد یا مرجع استاندارد کدگذاری کننده آن ماده خاص، جستجو کند. از طرفی همان‌گونه که انتظار می‌رود، فولادهای پرکاربرد و مهم توسط استانداردهای گوناگون کدگذاری شده‌اند و می‌توان برای یافتن یک فولاد، معادل آن‌را در سایر جداول استاندارد یافت.

باید به این نکته اشاره کرد که استانداردهای به کار گرفته شده در کدگذاری فولادها، همواره به صورت بین‌المللی تعریف نشده‌اند. استانداردهای ملی یا استانداردهایی که توسط یک تولیدکننده خاص وضع می‌شود، به دلیل نفوذ تولیدکننده در بازار مصرف و یا کیفیت تولید آن ممکن است در موارد خاصی بر استانداردهای ملی و بین‌المللی غالب باشند. هرچند هم‌اکنون با همه‌گیر شدن استانداردهای مرجعی مثل ISO، این نوع استانداردها در حال فراموشی هستند، ولی به دلیل گستردگی تولیدکنندگان و عدم دسترسی به تمام آن‌ها، استانداردهای ملی در کشورهای گوناگون برای دستیابی به گونه‌ای هماهنگ اقدام به کدگذاری فولادها کرده‌اند و به دلیل کامل و جامع بودن و همین‌طور سادگی کاربردشان، عده‌ای از آن‌ها را از مرزهای ISO فراتر گذاشته و همه‌گیر شده‌اند. از مهم‌ترین این استانداردهای ملی می‌توان به استاندارد آلمان اشاره کرد که مخفف این استاندارد، DIN است.

### کدگذاری آلیاژهای آهن بر اساس استاندارد آلمان DIN

استاندارد آلمان به منظور کدگذاری مواد دو رویه اساسی را دنبال می‌کند. در رویه اول که مربوط به استاندارد DIN 17006 است، با توجه به کاربرد فولاد، خواص فیزیکی و یا مکانیکی آن کدگذاری کوتاهی روی فولاد صورت می‌پذیرد.

در روش دوم براساس استاندارد DIN 17007، به هر یک از مواد کد خاصی نسبت داده می‌شود که در جهت خلاصه‌نویسی است و هیچ‌گونه توضیحی در مورد ترکیب شیمیایی و خواص فولاد از کد اختصاصی داده شده، قابل استخراج نیست و برای بیان خواص، نوع کاربرد و ترکیب شیمیایی لازم است به کتب مرجع مراجعه شود.

اشاره به این نکته لازم است که کدگذاری بیان شده در این بخش، به آلیاژهای آهن محدود و از بیان آلیاژهای عناصر دیگر خودداری شده است و برای اطلاع از آن‌ها لازم است به بندهای دیگر استاندارد DIN 17007 مراجعه شود.

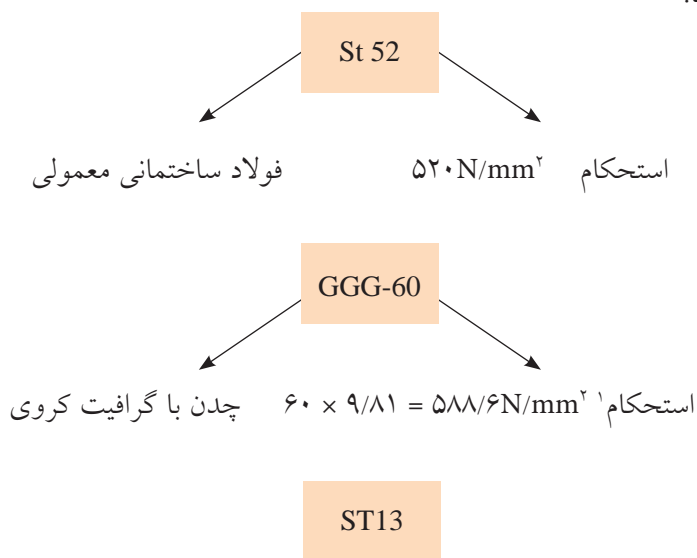
## نام‌گذاری کوتاه بر اساس DIN 17006

در این استاندارد فولادها را بر اساس نوع کاربرد، درصد کربن و دیگر عناصر آلیاژی آن تقسیم‌بندی کرده‌اند. بر همین مبنا سه نوع شماره‌گذاری در این استاندارد مرسوم است. در روش اول کدگذاری با توجه به کاربرد و نوع مواد صورت می‌پذیرد. به‌طور نمونه جدول زیر را مشاهده می‌کنید.

کد	مفهوم	کد	مفهوم
St	فولاد ساختمانی	GGG	چدن با گرافیت کروی
GG	چدن خاکستری	GS	فولاد ریختگی

در این نوع فولادها، ابتدا کد شناسایی به عنوان مثال St به مفهوم فولاد ساختمانی می‌آید، سپس عددی که با ضرب کردن آن در  $9/8$  استحکام نهایی آن برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع به دست می‌آید. برای تسمه و ورق‌هایی که جنس آن‌ها از فولاد غیرآلیاژی نرم است و برای کشش عمیق مناسب هستند، از حروف St استفاده می‌شود و پس از آن اعداد ۱۲ تا ۱۴ می‌آید.

مثال‌ها:



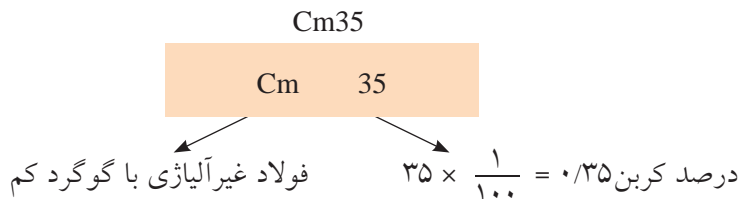
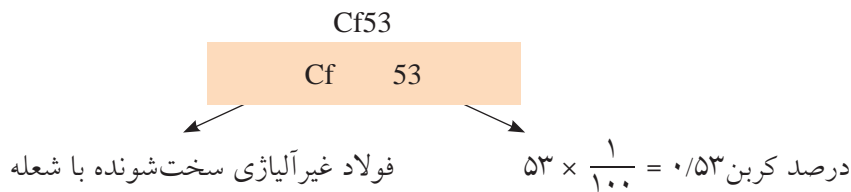
ورق فولاد با خواص کشش عمیق

۱- در بسیار موارد به‌جای ضریب  $9/8$  عدد ۱۰ در نظر می‌گیرند.

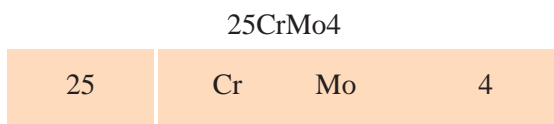
جدول ۳-۲: حروف مشخصه‌های چدن‌ها

حروف مشخصه	نوع چدن
GG	چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای
GGG	چدن خاکستری با گرافیت کروی
GTS	چدن چکش‌خوار سیاه
GTW	چدن چکش‌خوار سفید
GH	چدن سخت
CK	ریخته‌گری در قالب فلزی
GZ	ریخته‌گری گریز از مرکز

در روش دوم که بر آنالیز شیمیایی متکی است و برای فولادهای غیرآلیاژی و کربنی ساده به کار می‌رود، ابتدا حرف C می‌آید و حروف بعدی فرایندهای اضافی انجام شده بر روی فولاد را نشان می‌دهد. در ادامه و در سومین جایگاه، درصد کربن مشخص می‌شود که لازم است عدد منظور شده بر عدد ۱۰۰ تقسیم شود. برای مثال فولاد با کدگذاری CK45، به واسطه داشتن حرف C به مفهوم فولاد غیرآلیاژی، k نشان‌دهنده فولاد گوگرد و فسفرگیری شده و عدد ۴۵ نشان‌دهنده ۰/۴۵ درصد وزنی کربن در ساختار این فولاد است.



در روش سوم که برای نام‌گذاری فولادهای کم‌آلیاژ به کار می‌رود در ابتدا عددی است که با تقسیم آن بر ۱۰۰ مقدار درصد کربن را نشان می‌دهد و در ادامه عناصر آلیاژی و درصد آن‌ها با اعمال ضرایب جدول ۴-۲ آورده می‌شود.



۱ درصد کروم    مولیبدن    کروم ۰/۲۵ % کربن  
(با اعمال ضریب خاص)

جدول ۴-۲: ضرایب خاص برای فولادهای غیرآلیاژی

4	10	100	1000
Cr کروم	Al آلومینیم	Ta تانتالیم	B بُر
Co کبالت	Be بریلیم	Ti تیتانیم	
Mn منگنز	Cu مس	V واندیم	
Ni نیکل	Mo مولیبدن	Zr زیرکونیم	
Si سیلیسیم		Nb نیوبیم (کلمبیم)	
W تنگستن		Pb سرب	
		C کربن	
		S گوگرد	
		N نیتروژن	
		Cs سزیم	

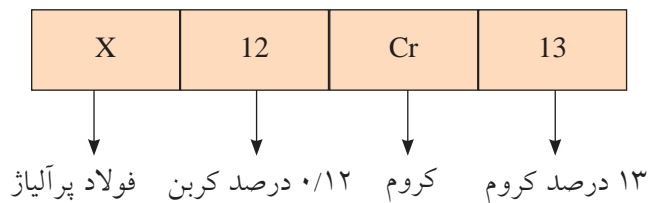


توجه داشته باشید که به دلیل کم بودن میزان عنصر مولیبدن در آلیاژ فوق، درصد آن اشاره نمی‌شود.

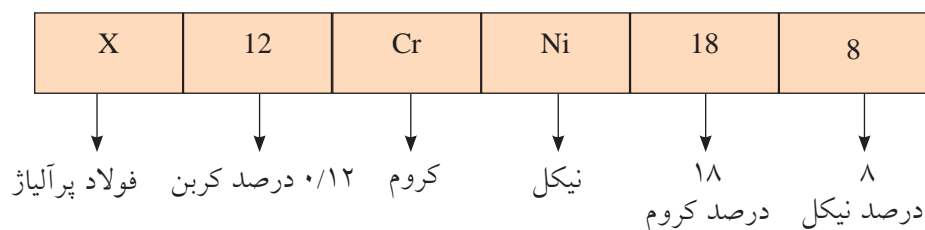
در فولادهای پرآلیاژ، حرف X قبل از درصد کربن می‌آید. عدد داده شده برای درصد کربن باید بر ۱۰۰ تقسیم شود. بعد از آن علامت اختصاری شیمیایی عناصر آلیاژی به ترتیب درصد وزنی در آلیاژ نوشته می‌شود.

چند مثال:

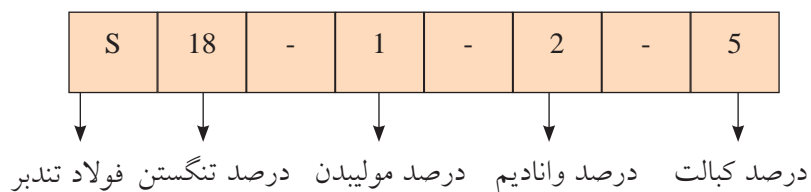
X12Cr13



X12CrNi188



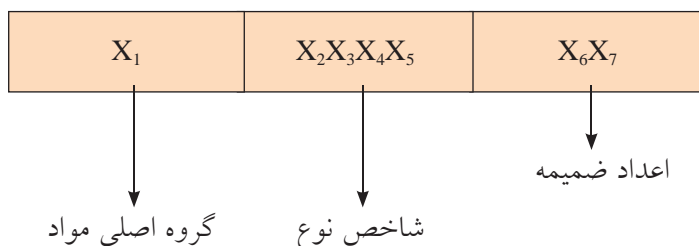
حرف شناسایی فولادهای تندبر، حرف S است. پس از حرف S مقدار درصد وزنی به ترتیب برای تنگستن، مولیبدن، وانادیم و کبالت است.





## شماره‌گذاری آلیاژهای آهن بر اساس DIN17007:

استاندارد آلمان برای سهولت در درج نام مواد، کدگذاری هفت رقمی زیر را پیشنهاد کرده است:



در فولادهای پرآلیاژ و تند بر  
ضریب کربن  $\frac{1}{100}$  و بقیه  
فلزات یک است.

در جایگاه اول سمت چپ که گروه اصلی مواد را نشان می‌دهد، درج عدد ۰ (صفر)، به مفهوم آهن خام یا چدن است و عدد ۱ نشان‌دهنده فولاد است (جدول ۵-۲). در دو جایگاه بعدی (خانه‌های ۲ و ۳)، فولادها بر اساس کاربردهای خود کدهای دو رقمی خاصی را احراز می‌کنند که در جدول ۶-۲ به بعضی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود.

جدول ۵-۲ مفاهیم عددی  
اتم اول (گروه اصلی مواد)

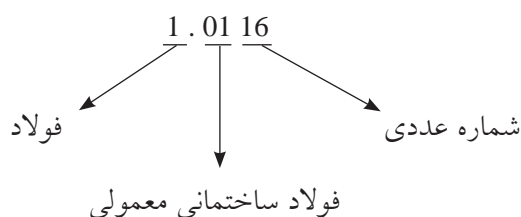
آهن خام، آلیاژهای آهن‌دار، چدن	0
فولاد، فولاد ریختگی	1
فلزات غیرآهنی سنگین	2
فلزات سبک	3
مواد غیر فلزی	4-8
آزاد برای سایر مصارف یا کاربرد داخلی	9

جدول ۶-۲ اعداد در رقمهای دوم و سوم ( $X_2, X_3$ )

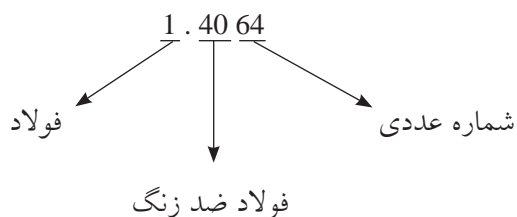
توضیح	کد
فولادهای ساختمانی	01-11 02-12
فولادهای ضدزنگ	40-45
فولادهای ابزار	15-18 20-28
فولادهای تند بر	32-33

به ترتیب از سمت چپ رقم‌های چهارم و پنجم نشان‌دهنده شماره عددی هستند. شماره عددی هیچ مطلبی را درباره ترکیب شیمیایی بیان نمی‌کند. رقم ششم و هفتم به ترتیب به فرایند تولید و عملیات حرارتی مربوط است که بر روی فولاد انجام می‌پذیرند. توجه کنید که از این ارقام هیچ نتیجه مستقیمی در خصوص ترکیب شیمیایی نمی‌توان گرفت و لازم است برای دستیابی به این منظور، به جداول فولاد مراجعه کنید. برای مثال ماده با شماره 1.2344، به واسطه 1 از نوع فولادهاست و به دلیل وجود عدد 23 از نوع فولادهای ابزار است.

مثال ۱:



مثال ۲:



## ارزشیابی پایانی

۱. مراحل تهیه آهن از سنگ آهن را نام ببرید.
۲. تغییرات ساختاری فولاد را هنگامی که از دمای ۱۶۰۰ تا دمای محیط سرد می‌شود، بیان کنید.
۳. تفاوت فولادها و چدن‌ها در چیست؟ شرح دهید.
۴. عملیات حرارتی چیست و مراحل آن کدام است؟
۵. سخت کردن سطحی فولادها یعنی چه؟ اهداف آن چیست؟ انواع آن را نام ببرید.
۶. انواع فولادها را شرح دهید.
۷. انواع فولادهای ابزار کدام‌ها هستند؟ در مورد هر کدام توضیح دهید و مثالی بیاورید.
۸. انواع چدن را نام ببرید و علت نام‌گذاری و کاربرد آن‌ها را ذکر کنید.
۹. اطلاعات فولادهای زیر را با توجه به کدگذاری آن‌ها استخراج کنید:

الف) St52

ب) CK60

ج) 1.2774

د) 90MnV8



۱. در تولید قطعات زیر کدام نوع آلیاژهای آهن را مناسب‌تر می‌دانید:

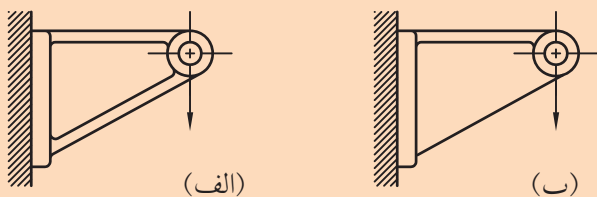
کاربرد:	آلیاژ:
۱. سنبه و ماتریس در قالب‌های برش	الف) فولادهای ضد زنگ
۲. تیرهای فلزی برای اسکلت ساختمان‌ها	ب) فولادهای نسوز
۳. ظروف کنسرو	ج) فولادهای ابزار
۴. سینک ظرفشویی	د) فولادهای کم کربن
۵. بدنه توربین‌ها	ه) چدن
۶. بدنه خودرو	
۷. کفشک‌های قالب	

۲. اغلب فولادهای پرکربن را جهت افزایش سختی تا زمان رسیدن به دمای آستنیت گرم می‌دهند و سپس به سرعت در آب سرد می‌کنند. اولاً تحقیق کنید که ساختار میکروسکوپی آن‌ها بعد از این عملیات به چه شکلی خواهد شد؟ ثانیاً شرح دهید برای بازیابی (برگشت) ساختار این فولاد به شرایط اولیه، لازم است چه عملیات حرارتی انجام شود؟

۳. کربن در ساختار چدن‌ها به چه شکلی است و تفاوت آن با ساختار کربن در فولادها در چیست؟ علت این تفاوت در کجاست؟

۴. چرا در تولید اسکلت‌های ساختمان‌ها به جای فولاد از چدن استفاده نمی‌شود؟

۵. به منظور تولید دیوارکوب طرح (الف) از فولاد و طرح (ب) از چدن ساخته می‌شود توضیح دهید چرا تیغه تقویتی در زیر دیوارکوب چدنی حذف شده است؟



۶. چرا در بیشتر کارگاه‌های اندازه‌گیری، میزهای اندازه‌گیری را از چدن یا گرانیت تهیه می‌کنند؟



۷. چرا بیشتر پایه‌ها و بسترهای ماشین‌های ابزار را از جنس چدن خاکستری تولید می‌کنند؟

۸. تحقیق کنید که چرا نباید در کاربردهای با دمای بیش از  $400^{\circ}\text{C}$  از چدن استفاده کرد؟

## فصل سوم: فلزات غیر آهنی

### ◀ هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می رود:

- فلزات غیرآهنی را شرح دهد.
- فلزات غیرآهنی را دسته‌بندی کند.
- فلزات غیرآهنی سنگین را نام ببرد.
- خصوصیات فلزات غیرآهنی سنگین را شرح دهد.
- کاربرد فلزات غیرآهنی سنگین را شرح دهد.
- فلزات غیرآهنی سبک را نام ببرد.
- خصوصیات فلزات آهنی سبک را شرح دهد.
- کاربرد فلزات غیرآهنی سبک را شرح دهد.



## فلزات غیر آهنی

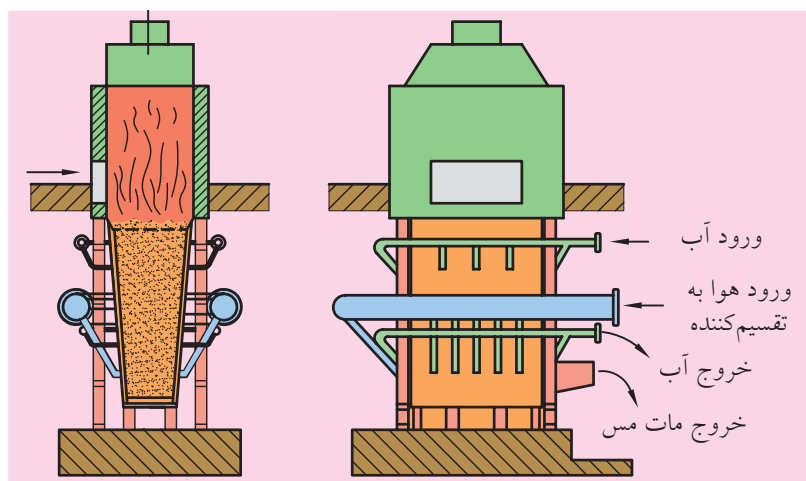
استفاده گسترده فلزات غیر آهنی در صنایع به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد آنهاست. فلزات غیر آهنی به صورت خالص در کاربردهای خاص و یا به صورت آلیاژ با سایر عناصر به کار می‌روند. به طور کلی فلزات غیر آهنی در دو دسته اصلی فلزات غیر آهنی سنگین و فلزات غیر آهنی سبک قرار دارند.

### فلزات غیر آهنی سنگین

فلزاتی که جرم مخصوص آنها بیشتر از  $5 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  باشد فلزات سنگین نامیده می‌شوند. مس، روی، قلع، کروم، تنگستن، مولیبدن، کبالت، منگنز، آنتیموان، کادمیم، بیسموت، جیوه و فلزات قیمتی مانده نقره، طلا و پلاتین از مهم‌ترین فلزات غیر آهنی سنگین هستند. در ادامه به معرفی تعدادی از فلزات غیر آهنی سنگین و ویژگی‌های آن می‌پردازیم.

#### مس

مس و آلیاژهای آن در مقایسه با سایر فلزات برای ساخت و ساز مهندسی کاربرد بیشتری دارد. انتخاب آلیاژهای مس به منظور مصارف گوناگون، اغلب به خواص مکانیکی یا فیزیکی ویژه آنها بستگی دارد. نیاز به ضریب هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، برای برخی از قطعات در به کارگیری این فلز و آلیاژهای آن در ساخت قطعات بسیار مورد توجه است. خواص دیگری همچون مقاومت به خوردگی، شکل پذیری عالی، قابلیت ریخته‌گری و خواص مکانیکی مطلوب، از دیگر ویژگی‌های مورد توجه مس و آلیاژهای آن است.



شکل ۱-۳ کوره تهیه مات مس (احیای قائم)



استخراج و تغلیظ

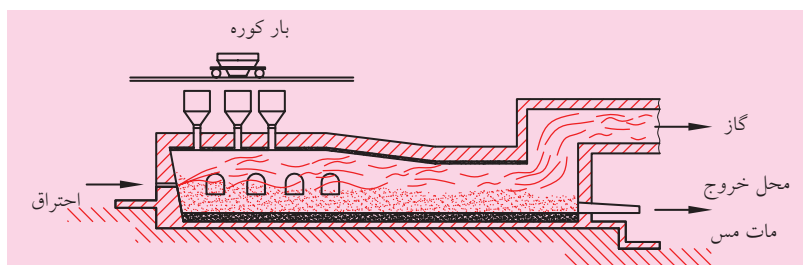
فلز خام

افزایش خلوص



شکل ۳-۲ مراحل تهیه مس خالص

سنگ معدن مس، اغلب به صورت سولفید یافت می شود. مس به دو صورت اساسی تولید مات مس و روش هیدرومتالورژی تهیه می شود. در روش تهیه مات مس، سنگ های معدنی گوگرددار مس در کوره های ذوب به مخلوطی از مس و آهن که مات مس نامیده می شود، تبدیل می شوند سپس این ماده توسط یک مبدل به مس خام تبدیل می شود که بعد از تصفیه فلز مس به دست می آید (شکل های ۳-۱ تا ۳-۳).



شکل ۳-۳ کوره احیای شعله ای مسطح

در روش دیگر که هیدرومتالورژی نام دارد، سنگ های اکسیدی و به ویژه سنگ های کربنات دار مس مورد استفاده قرار می گیرد. پس از حذف گوگرد، سنگ معدن مس را در حلال مناسبی مثل اسید سولفوریک یا اسید هیدروکلریک حل کرده و مس را با روش های جداسازی، تفکیک می کنند. این روش آلودگی کمتری دارد و از این جهت بر روش تولید مات مس برتری دارد.

#### ◀ خواص مس:

از مهم ترین خواص مس می توان به ضریب هدایت الکتریکی بالای مس اشاره کرد. مس پس از نقره، بهترین ضریب هدایت الکتریکی را دارد و به همین دلیل بیشترین مصرف مس در صنایع برق و الکترونیک است (شکل های ۳-۴ و ۳-۵).



شکل ۳-۵ در مدار چاپی از مس استفاده می شود



شکل ۳-۴ کاربردهای مس در الکترونیک

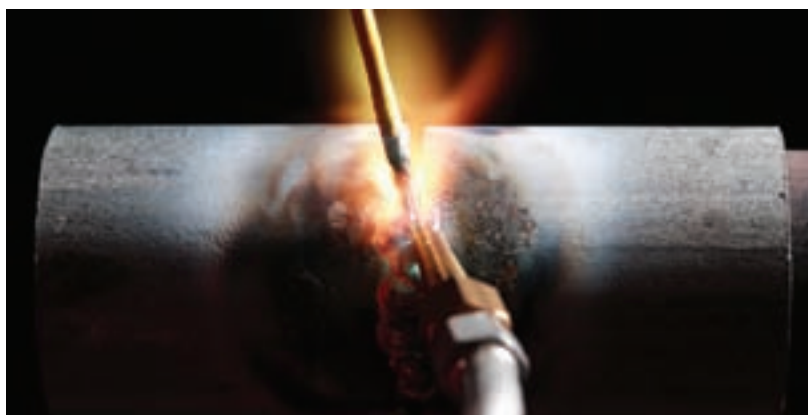
جالب است بدانید مس یکی از عناصر فلزی است که بیشتر به صورت خالص به کار می‌رود و آلیاژهای آن تولید و مصرف کمتری دارند. مس در حالت خالص ضریب هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به حالت آلیاژی آن دارد، هرچند حالت آلیاژی مس خواص مکانیکی بهتری از خود نشان می‌دهد. در حال حاضر ۶۰ درصد تجهیزات الکتریکی، از مس برای انتقال جریان در کاربردهای مختلف استفاده می‌کنند.

رابطه تنگاتنگی میان ضریب هدایت الکتریکی و ضریب هدایت حرارتی برقرار است که ناشی از پیوند فلزی بین اتمهاست. از این رو انتظار داریم همان‌طور که ضریب هدایت الکتریکی مس زیاد است، ضریب هدایت حرارتی آن هم زیاد باشد. علاوه بر این مس مقاومت به خوردگی خوبی نیز دارد. این دو خاصیت باعث شده است تا از آن در تولید تجهیزات سرمایشی و گرمایشی به وفور استفاده شود (شکل ۶-۳).

قابلیت جوشکاری مس و آلیاژهای آن بسیار مورد توجه است، زیرا برای جوشکاری آلیاژهای مس با روش‌های مختلف، هیچ‌گونه محدودیتی وجود ندارد. از آلیاژهای مس برای جوشکاری مقاطع با ضخامت کم استفاده‌های وسیعی می‌شود. زیرا ضریب هدایت حرارتی خوب آن‌ها، مانع از تمرکز حرارت در منطقه جوش و ذوب شدن فلز پایه در این ناحیه می‌شود (شکل ۷-۳).



شکل ۶-۳: یک دیگ بخار قدیمی که در تولید آن از مس و آلیاژهای آن به وفور استفاده شده است.



شکل ۷-۳ جوشکاری با برنج یا همان زردجوش

خواص ماشین‌کاری، شکل‌پذیری و ریخته‌گری مس و آلیاژهای آن مزیتی است که اغلب در تولید انبوه و سری‌کاری از آلیاژهای مس استفاده می‌شود.

قابلیت شکل پذیری و چکش خواری مس نیز بسیار مطلوب است، به طوری که قطعات تولید شده از این عنصر به روش های آهنگری و کشش عمیق را با هیچ عنصر دیگری نمی توان مقایسه کرد. به همین دلیل اغلب اتصالات و شیرها را با روش های گوناگون شکل دهی از مس و آلیاژهای آن بالاخص برنج تولید می کنند. (شکل های ۳-۸ و ۳-۹).



شکل ۳-۸

#### ◀ آلیاژهای مس:

همان طور که انتظار می رود مس به صورت خالص استحکام کمی دارد در بهترین حالت مس کار شده را می توان تا استحکام  $357\text{MPa}$  مستحکم کرد که این استحکام در اغلب کاربردهای مهندسی، استحکام کمی محسوب می شود و لازم است با آلیاژسازی استحکام این فلز را افزایش داد. آلیاژهای مس را به دلیل قیمت زیاد و کمیاب بودن می توان با فلزات و آلیاژهای دیگر که ارزان تر هستند جایگزین کرد. ولی همچنان مس و آلیاژهای آن در مهندسی، بالاخص در مهندسی برق و مکانیک کاربردهای وسیع و غیر قابل انکاری دارند. از جمله مطرح ترین آلیاژهای مس می توان به برنج و برنز اشاره کرد که در زیر به اختصار به آن ها می پردازیم.

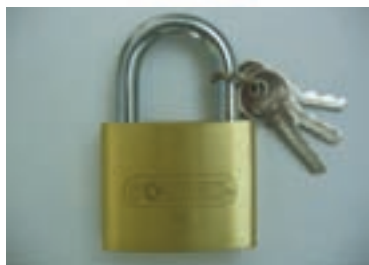


شکل ۳-۹ لوله ها و شیرآلات تولیدی از آلیاژ مس



#### ◀ برنج ها:

آلیاژهای مس و روی را با نام برنج می شناسند. برنج به آلیاژهایی از مس اطلاق می شود که حداکثر ۴٪ روی دارند با تغییر میزان روی، خواص آلیاژ مس روی (برنج) هم تغییر می کند. برنج هایی که حاوی عناصر دیگری مثل قلع، آلومینیم، منگنز، سرب و دیگر عناصر آلیاژی پرکاربرد می توان به برنج قرمز، برنج زرد و برنج های زرد ویژه اشاره کرد (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰ چندوسیله ساخته شده از برنج

برنج قرمز در کاربردهایی که شکل پذیری زیاد و مقاومت به خوردگی نیاز باشد استفاده می شود. مثل لوله ها، و شیرها و اتصالات. برنج های زرد به خوبی شکل می پذیرند و اغلب از آن ها در تولید ورق ها، میله ها، سیم و بالاخص در تولید پوکه فشنگ استفاده می کنند هرچه مقدار مس در آلیاژ برنج بیشتر باشد قابلیت تغییر فرم بدون براده برداری آن افزایش می یابد. با اضافه کردن سایر عناصر آلیاژی به برنج مثل قلع و آلومینیم می توان گروه برنج های ویژه را تولید



قلع سختی مس را زیاد می‌کند و مقاومت به سایش آن را بیشتر از روی افزایش می‌دهد.

### برنزها:

اصطلاح برنز در ابتدا برای تشریح آلیاژهای مس قلع به کار گرفته شده است ولی در حقیقت این اصطلاح برای هر آلیاژ مس (به استثنای مس - روی) که دارای حداکثر ۲۵ درصد از عناصر آلیاژی اصلی باشد اطلاق می‌شود. برنزها از نقطه نظر استحکام، مستحکم‌تر از برنج‌ها هستند. برنز قلع یکی از قدیمی‌ترین آلیاژهایی است که توسط انسان به کار گرفته شده است، امروزه استفاده از آن محدود شده است چرا که هم مس و هم قلع از قیمت زیادی برخوردار هستند و از این آلیاژها در کاربردهای خاصی استفاده می‌شود.

آلیاژهای مس - قلع همان‌طور که بیان شد از آلیاژهای مس - روی گرانتر هستند ولی بسیار مستحکم‌تر و مقاومت به خوردگی بالاتری هم دارند دو نوع از برنزهای مس - قلع که بسیار مورد توجه هستند، فسفر برنز و برنز سرب‌دار است این دو آلیاژ مصرف زیادی در یاتاقان‌ها دارند و اغلب بوش‌ها از این آلیاژها تهیه می‌شوند (شکل‌های ۱۱-۳ و ۱۲-۳).



شکل ۱۱-۳ بوش برنزی



شکل ۱۲-۳ یاتاقان و بوش از جنس برنز

فسفر برنز برای یاتاقان‌هایی با بار کم بسیار کارآمد هستند و افزودن فسفر به این آلیاژ باعث سیالیت ریخته‌گری این آلیاژها خواهد شد، به علاوه این عنصر بر خواص ماشین‌کاری این آلیاژ هم اثرات مطلوبی دارد. برنزهای سرب عمدتاً برای یاتاقان‌ها و بوش‌هایی که تحت بار سنگین هستند استفاده می‌شود.

## سایر فلزات غیر آهنی سنگین

### روی Zn

◀ **مشخصات ظاهری :** روی فلزی است به رنگ خاکستری روشن

آیا می دانید



از آلیاژهای روی برای تهیه انواع یاتاقان چرخ دنده های حلزونی، چرخ دنده های قطعات موتورها، ترازوها، بدنه کاری، دستگیره و قفل، تیغه و دسته برف پاک کن استفاده می شود.



شکل ۳-۱۳



شکل ۳-۱۴

### ویژگی ها



روی شکننده است و در بین فلزات بیشترین قابلیت انبساط حرارتی را دارد. در مقابل خوردگی و در مجاورت هوا به خوبی مقاوم است ولی در مقابل اسیدها و نمکها مقاومت کمی دارد.

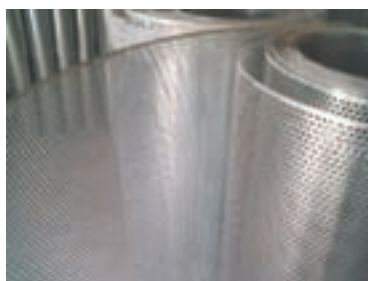
### کاربردها



از روی در گالوانیزه کردن، آب کاری برنج و مفرغ و ریخته گری تحت فشار استفاده می شود. ورق روی در ساختن قوطی، باتری های الکتریکی، پلاک نشانی به کار می رود. روی به عنوان پوشش در ورق های آج دار و بدون آج، حصارکشی ها، لوله ها و پیچ ها و مخزن ها به کار می رود. اکسید روی در ساختن سمنت دندان سازی، رنگ، کف سازی، کبریت، لوازم لاستیکی به کار می رود. در شکل های ۳-۱۳ تا ۳-۱۷ نمونه ای از کاربردهای سرب را ملاحظه می کنید.



شکل ۳-۱۵



شکل ۳-۱۶



شکل ۳-۱۷



## سرب Pb

آیا می دانید



به دلیل سمی بودن ترکیبات سربی، باید در هنگام کار دستورالعمل های بهداشتی را با نهایت دقت انجام داد.

◀ **مشخصات ظاهری:** سرب فلزی است نرم و به رنگ خاکستری مایل به آبی است.

ویژگی ها



سرب در مقابل خوردگی و اسیدها مقاومت خوبی دارد. ترکیبات سرب بسیار سمی است. قابلیت چکش کاری و خم کاری خوبی دارد.

آیا می دانید



در هنگام خم کاری لوله های سربی باید از فنر استفاده شود.

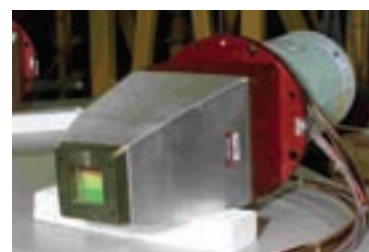
کاربردها



سرب در فولادهای خوش تراش به عنوان مواد روانکار عمل می کند و اصطکاک میان لبه برنده ابزار بوش و براده را کاهش می دهد و سطح صافی را ایجاد می کند. از ورقه های سربی به عنوان سپر تشعشعی استفاده می شود. در شکل های ۱۸-۳ تا ۲۰-۳ نمونه ای از کاربرد سرب را نمایش می دهد.



شکل ۲۰-۳



شکل ۱۸-۳



شکل ۱۹-۳





شکل ۳-۲۱

◀ **مشخصات ظاهری :** نیکل رنگ سفید نقره‌ای براق دارد و فلزی است شکننده که از قابلیت پولیش خوبی برخوردار است.

## ویژگی‌ها

نیکل در مقابل بیشتر اسیدها به جز اسیدنیتریک مقاوم است. ریخته‌گری نیکل خالص دشوار است.



شکل ۳-۲۲

## کاربردها

نیکل در برنج‌ها و مفرغ‌ها برای افزایش چقرمگی و مستحکم کردن آلیاژها به کار می‌رود. آلیاژهای نیکل در تهیه سیم‌های مقاومت الکتریکی و در ساخت حدیده‌ها، قالب‌ها، پروانه‌های ریخته‌گری، پایه شیر و فنرهای مارپیچی به کار می‌رود (شکل‌های ۳-۲۱ تا ۳-۲۴).



شکل ۳-۲۳



شکل ۳-۲۴



کروم دارای استحکام  
ضربه‌ای زیادی است و  
هدایت الکتریکی آن از مس  
بیشتر است.

◀ **مشخصات ظاهری :** کروم رنگ خاکستری مایل به سفید دارد و مقطع شکسته آن به رنگ نقره‌ای براق است.

ویژگی‌ها



در مقابل خوردگی مقاومت زیادی دارد.

کاربردها



از کروم برای آبکاری سطح قطعاتی که سختی فوق‌العاده و مقاومت زیاد مورد نظر باشد، استفاده می‌شود. همچنین فلزاتی که سطح آن‌ها به خوبی پرداخت شده باشد با آبکاری روی، سطحی بسیار صاف خواهند داشت. کروم در تهیه فولادهای ضد زنگ، آلیاژهای مقاوم حرارتی و تهیه مواد نسوز کاربرد وسیعی دارد (شکل‌های ۲۵-۳ تا ۲۶-۳).



شکل ۲۵-۳



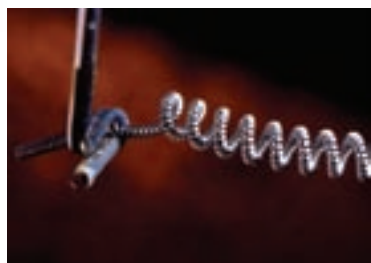
شکل ۲۶-۳



شکل ۳-۲۷



شکل ۳-۲۸



شکل ۳-۲۹

◀ مشخصات ظاهری : دارای رنگ خاکستری متمایل به سفید است.

### ویژگی‌ها



بیشترین نقطه ذوب در بین فلزات متعلق به تنگستن است.

### کاربردها



تهیه سیم‌های نازک برقی مانند فیلامان لامپ‌ها به کار می‌رود. از تنگستن به عنوان الکترود غیر مصرفی جوش آرگون استفاده می‌شود. همچنین از تنگستن در تهیه فولادهای ابزارسازی است (شکل‌های ۳-۲۷ تا ۳-۲۹).

عنوان فلز غیر آهنی (سنگین)	مشخصات ظاهری	ویژگی و کاربرد
مولیبدن Mo	سفید نقره‌ای	خاصیت مغناطیسی ندارد و در تهیه فولادهای نجیب آلیاژی و الکتروود لامپ‌های اشعه X کاربرد دارد.
کبالت Co	سفید مایل به قرمز تا سفید مایل به آبی	بسیار سمج است و تأثیر سخت‌کننده‌ای دارد. در فولادهای ابزارسازی تندبر و تولید آهن‌ریاهاى دائمی کاربرد دارد.
منگنز Mn	دارای رنگ سفید مایل به خاکستری	به عنوان فلز آلیاژی در فولادها و آلیاژها مس و آلیاژهای فلزی سبک کاربرد دارد.
جیوه Hg	دارای رنگ نقره‌ای براق و تنها فلزی است که در درجه حرارت محیط به صورت مایع است.	در ساخت دماسنج‌ها، کلید جیوه‌ای کاربرد دارد. جیوه دارای بخارهای فوق‌العاده سمی است.
نقره Ag	دارای رنگ سفید است	نرم و بسیار انعطاف پذیر است. نقره خالص در بین کلیه فلزات از بالاترین قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی برخوردار است. نقره در وسایل الکتریکی، عکاسی، منعکس کننده‌ها کاربرد دارد.

### فلزات غیر آهنی سبک

فلزاتی که جرم مخصوص آنها کمتر از  $\frac{5\text{kg}}{\text{dm}^3}$  باشد فلزات سبک نامیده می‌شود. فلزات سبکی که بیشترین کاربرد را در صنعت دارند عبارت‌اند از: آلومینیم، منیزیم، بریلیم و تیتانیم.

در سالهای اخیر فلزات سبک، کاربردهای زیادی در تمامی زمینه‌های مهندسی یافته‌اند. دلیل این امر همان‌طور که از نام این فلزات مشخص است، وزن کم آنها در برابر فلزات سنگین مثل آهن است. امکان ماشین‌کاری آسان، شکل‌دهی به صورت سرد و گرم، جوشکاری، لحیم‌کاری، چسباندن، پرچ‌کاری و خم‌کاری ساده از خواص مورد توجه این فلزات است. فلزات سبک، دارای سختی کمی هستند، لذا از به‌کارگیری آنها در شرایطی که ضربه و یا صدمات سطحی

### تحقیق کنید



چند کاربرد را برای فلزات سبک که می‌شناسید نام ببرید.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



شکل ۳-۳۰ از مهمترین منابع بازیافت فلز آلومینیم قوطی‌های خالی نوشیدنی‌هاست.

حادث می‌شود، باید اجتناب کرد. باید از صدماتی مثل بریدگی، خراش به دلیل حساسیت به شکاف این فلزات، جلوگیری شود. برای ماشین‌کاری این فلزات لازم است ضربه به صورت گسترده، یکنواخت و تدریجی بر قطعه وارد آید. در ادامه به معرفی تعدادی از فلزات غیرآهنی سبک و ویژگی‌های آن می‌پردازیم.

### آلومینیم

آلومینیم از جمله فلزات سبک است که به دلیل قیمت نسبتاً ارزان و خواص ویژه‌اش بسیار مورد توجه است. تقریباً ۸ درصد از کل پوسته زمین را آلومینیم تشکیل می‌دهد که پس از اکسیژن و سیلیسیم فراوان‌ترین عنصر در پوسته زمین است. هر چند این عنصر به وفور در طبیعت یافت می‌شود ولی نمی‌توان آن را به صورت خالص پیدا کرد و اغلب به صورت ترکیب با سایر عناصر به ویژه اکسیژن است. در واقع دانشمندان تا اواسط قرن هفدهم میلادی به وجود این عنصر فلزی پی نبرده بودند. البته سال‌ها بود که سولفات آلومینیم در تولید رنگ به کار می‌رفت.

کشف آلومینیم توسط محقق دانمارکی هانس کریستن اورسته صورت پذیرفته است، که توانست این عنصر را در مقیاس آزمایشگاهی و به مقدار کم تولید کند. دو سال پس از او، همکارش، وهلر آلمانی توانست به همان روش آلومینیم را به مقدار کافی تولید کند. او در مورد خواص این فلز تحقیقات گسترده‌ای انجام داد. (شکل ۳-۳۰)

### خواص آلومینیم

همان‌طور که بیان شد، آلومینیم فلزی است، بسیار سبک و چگالی آن در حدود یک سوم فولاد است. کم بودن وزن این فلز مزایای زیادی دربر دارد. حمل و نقل راحت‌تر و سریع‌تر، از جمله این مزایاست. ولی آنچه در این میان از اهمیت بیشتری برخوردار است، استحکام آلیاژهای این فلز است.

هر چند آلومینیم به صورت خالص از استحکام چندانی برخوردار نیست (در حدود ۱۱ Mpa) ولی برخی از آلیاژهای این عنصر فلزی از لحاظ استحکام با فولادهای معمولی برابری می‌کنند. این خاصیت باعث می‌شود تا اغلب تولیدکنندگان هر جا که بتوانند از آلومینیم به جای فولادهای با استحکام کم تا

متوسط استفاده کنند. خاصیت جالب در آلومینیم این است که، آلومینیم استحکام خود را در درجه حرارت‌های پایین (زیر صفر) به خوبی حفظ می‌کند، این در حالی است که اغلب آلیاژهای فلزی دیگر در اثر کم شدن درجه حرارت محیط، دچار شکنندگی و کم شدن در استحکام می‌شوند.



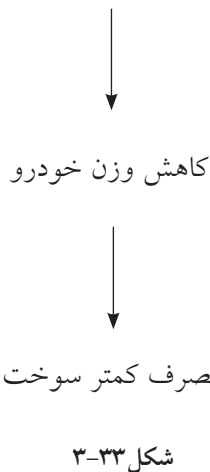
شکل ۳-۳۱

خواص گفته شده بالا باعث می‌شود تا آلومینیم را بتوان در صنایع حساس مثل هوا فضا به کار گرفت. طراحان هواپیماها به موادی نیاز دارند که امکان تولید اسکلت‌های سبک وزن با هزینه‌های معقول که با دوام بوده و در دمای محیط و کمتر از آن بتوانند مقاومت کنند را فراهم سازد، از این رو آلومینیم گزینه مناسبی است. کاربرد این فلز در هواپیماهای نظامی و تجاری بسیار زیاد است، به طوری که در یک هواپیمای مسافربری پهن پیکر ۷۰٪ قطعات و تجهیزات از این فلز و آلیاژهای آن ساخته می‌شوند (شکل‌های ۳-۳۱ و ۳-۳۲). در زمینه صنعت خودروسازی و همزمان با افزایش روز افزون قیمت سوخت، لزوم توجه به کم کردن وزن در تولید خودروها بیش از پیش احساس می‌شود. وضعیت آب و هوایی کره زمین نیز که اغلب به دلیل تولید گازهای گلخانه‌ای توسط وسایل نقلیه دچار اختلال شده است، نیز به اهمیت این موضوع افزوده است. جایگزین کردن قطعات چدنی و فولادی با آلیاژهای آلومینیمی موجب کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی وزن خودرو می‌شود. استفاده از صفحات آلومینیمی در بدنه خودروها علاوه بر کم کردن وزن، باعث می‌شود که تولید این قطعات (به دلیل فرم پذیری خوب آلومینیم) آسان‌تر شود. ضمن آن‌که ظاهری خوبی هم به این قطعات می‌دهد. آلومینیم میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن دارد، از این رو ممکن است فکر کنید که این فلز به سرعت اکسید شده و غیر قابل مصرف می‌شود. ولی، سطح آلومینیم به محض قرار گرفتن در معرض اکسیژن هوا، لایه‌ای چسبنده و مقاوم از اکسید آلومینیم بر سطح خود تشکیل می‌دهد. این لایه اکسیدی مانع از رسیدن اکسیژن و یا هر ماده خورنده دیگری به قسمت‌های زیرین لایه اکسیدی شده و بدین ترتیب از خوردگی آلومینیم جلوگیری می‌شود. اگر این لایه به هر دلیلی (فرسایش یا خراشیدگی) پاک شود، بار دیگر به سرعت تشکیل می‌شود.



شکل ۳-۳۲

استفاده از آلومینیم در  
صنعت خودروسازی



شکل ۳-۳۴ قابلیت بالای شکل پذیری  
آلومینیوم موجب شده است که محصولات  
به صورت یک پارچه ساخته شوند.

وجود این لایه‌ها، ایجاد لایه‌های محافظتی دیگر را بر سطح این فلز و تحمیل هزینه‌های بیشتر بی‌نیاز می‌سازد. شکل (۳-۳۳)

آلومینیم خواص شکل پذیری بسیار خوبی، هم به صورت سرد و هم به صورت گرم دارد (شکل ۳-۳۴). خواص گفته شده یعنی مقاومت به خوردگی، شکل پذیری خوب به همراه غیر سمی بودن این فلز، امکان تولید فویل‌ها با ضخامت بسیار کم از آلومینیم را برای مصارف بسته بندی، را فراهم کرده است. این فویل‌ها علاوه بر استفاده برای بسته بندی خوراکی گزینه مناسبی برای تولید ظروف نوشیدنی‌ها هستند و ضخامت آن‌ها از یک صدم تا چند دهم میلی متر قابل تغییر است.

از دیگر خواص آلومینیم، هدایت الکتریکی بسیار خوب آن است، در حقیقت آلومینیم پس از نقره، مس و طلا، بیشترین ضریب هدایت الکتریکی را دارد. فلزات نقره و طلا به دلیل گران قیمت بودن اغلب در مصارف تجاری بجز در موارد خاص استفاده نمی‌شوند و این مس و آلومینیم هستند که در مصارف تجاری و در تجهیزات الکتریکی و برق استفاده می‌شوند. خاصیت هدایت الکتریکی آلومینیم در حدود نصف مس است ولی اغلب از فلز آلومینیم در تجهیزات انتقال قدرت استفاده می‌شود زیرا آلومینیم وزنی در حدود یک سوم مس دارد و این وزن کم، استفاده از تجهیزات جانبی کمتری را سبب می‌شود. (شکل ۳-۳۵)



شکل ۳-۳۵





ممکن است تصور کنید، استفاده از کابل‌های آلومینیمی به دلیل ضریب کم هدایت الکتریکی آن نسبت به مس، مقرون به صرفه نیست دوقطعه هم طول و هم وزن از دو عنصر مذکور برای انتقال جریان الکتریکی در نظر بگیرید، از آنجا که آلومینیم سبک‌تر از مس است، لذا سطح مقطع سیم آلومینیمی بیشتر خواهد شد و لذا توان عبور جریان بیشتری را خواهد داشت، لذا استفاده از سیم آلومینیمی مزیتی را هم موجب می‌شود. آیا می‌توانید با روابط ریاضی و اندکی از فیزیک دلیل آن را بگویید؟

آلومینیم خاصیت جالب دیگری هم دارد و آن ضریب بالای هدایت حرارت آن است در نتیجه کاربرد این عنصر در تولید تجهیزات انتقال حرارت از اهمیت خاصی برخوردار است. به همین دلیل است که از آلومینیم در تولید ظروف خانگی و تزئینی استفاده می‌شود. از این فلز در تولید رادیاتورهای سرمایشی و گرمایشی هم استفاده می‌شود که البته با توجه به شکل‌پذیری خوب آلومینیم، رادیاتورهای تولیدی از این جنس، شکل‌تر و با دوام‌تر هستند (شکل‌های ۳-۳۶ و ۳-۳۷).



شکل ۳-۳۶

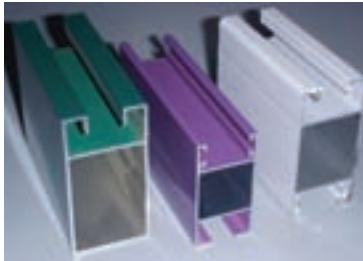
### آلیاژهای آلومینیم

در فصول قبل شرح داده شد که فلزات به صورت خالص، فاقد استحکام کافی هستند. آلومینیم نیز از این قاعده مستثنی نیست و همان‌طور که بیان شد، استحکام آن در حالت خالص بسیار کم است. ولی با اضافه کردن برخی از عناصر فلزی مثل مس، روی و منگنز به این عنصر می‌توان استحکام آنرا تا ۵۵Mpa افزایش داد. به این ترتیب آلیاژهای تولیدی این فلز توانسته‌اند در ساخت و ساز مهندسی کاربردهای وسیعی داشته باشند. در سال‌های نخستین که آلومینیم توسط شرکت‌های خاصی به صورت آلیاژ تولید می‌شد، هر شرکت سازنده آنرا با نامی که خود مبدع آن بود، کدگذاری می‌کرد و هیچ‌گونه



شکل ۳-۳۷

کدگذاری بین‌المللی وجود نداشت. با گذشت زمان اهمیت وجود یک شماره گذاری واحد آشکار شد و بعدها کدگذاری AA<sup>1</sup> برای آلومینیم و آلیاژهای آن به عنوان مرجع پذیرفته شد.



شکل ۳-۳۸



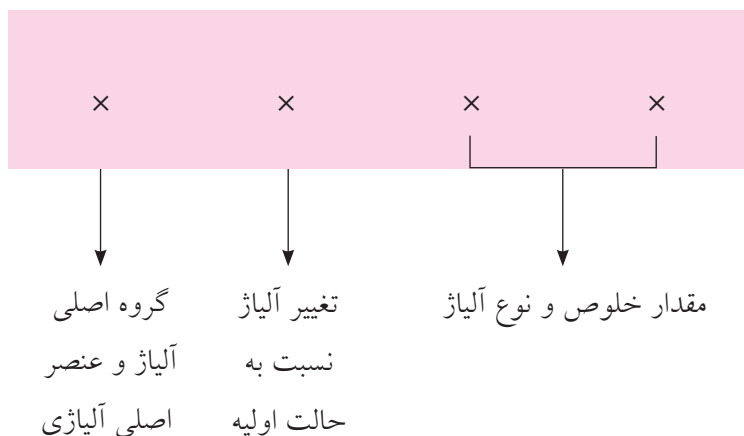
شکل ۳-۳۹

به طور کلی آلومینیم و آلیاژهای آن با دو صورت کار شده و ریختگی موجود هستند. آلیاژهای کار شده آلومینیم اغلب به روش‌های مکانیکی به شکل مورد نظر در می‌آیند، (روش‌های مثل اکستروژن، نورد سرد و گرم و...) (شکل‌های ۳-۳۸ و ۳-۳۹) و آلیاژهای ریختگی که از نامشان مشخص است، قابلیت ریخته‌گری دارند و توسط روش‌های ریخته‌گری به شکل دلخواه در می‌آیند. هر کدام از این دو گروه از آلیاژهای آلومینیم دارای کدگذاری خاصی هستند. در هر دو روش، این کد گذاری‌ها، از چهار عدد و یک حرف که نشان‌دهنده نوع عملیات سخت‌کاری است، استفاده می‌شود. برای مثال عدد 2024-O نشان می‌دهد که این آلیاژ از نوع کار شده دارای ترکیب آلیاژی از آلومینیم است که حاوی عنصر اصلی آلیاژی مس است و عملیات سخت‌کاری O بر روی آن انجام شده است. حروف مربوط به سخت‌کاری می‌تواند یکی از حروف (F, O, H, T) باشد که هر کدام مفهوم خاصی دارند برای مثال حرف F نشان می‌دهد که آلیاژ همان‌طور که تولید شده عرضه شده و هیچ عملیات خاصی روی آن صورت نگرفته است. در ادامه به بررسی آلیاژهای کار شده و ریخته‌گری به تفکیک می‌پردازیم.

### آلیاژهای کار شده آلومینیم

این آلیاژها با توجه به عناصر آلیاژی که در ساختار خود دارند به هشت گروه طبقه‌بندی می‌شوند، در هر گروه مشخصات کامل آلیاژ به وسیله چهار عدد از هم تفکیک می‌شوند، رقم اول سمت چپ نشان‌دهنده گروه اصلی آلیاژ و عنصر اصلی آلیاژی به کار رفته در آن است، دومین رقم تغییر آلیاژ نسبت به حالت اولیه و پیشرفت‌هایی است که در ترکیب و در نتیجه خواص آلیاژ رخ می‌دهد، و به این مفهوم است که آلیاژ فاقد تغییر بوده و به همان صورتی که ابداع شده

استفاده می‌شود. سومین و چهارمین رقم به ترتیب نوع آلیاژ و مقدار خلوص را معلوم می‌کند. در ادامه به شرح گروه‌ها می‌پردازیم. البته شایان ذکر است مطالبی که در ادامه به آنها اشاره می‌شود بسیار خلاصه و مختصر بوده و برای اطلاعات بیشتر نیاز به مطالعه مراجع است.



جدول ۱-۳ گروه اصلی آلیاژ و عناصر اصلی در آلیاژهای آلومینیم

نماد	عناصر آلیاژی
۱xxx	آلومینیم خالص تجاری با خلوص ۹۹٪
۲xxx	آلومینیم + مس
۳xxx	آلومینیم + منگنز
۴xxx	آلومینیم + سیلیسیم
۵xxx	آلومینیم + منیزیم
۶xxx	آلومینیم + منیزیم + سیلیسیم
۷xxx	آلومینیم + روی
۸xxx	آلومینیم + دیگر عناصر



شکل ۳-۴۰ فویل آلومینیومی برای بسته‌بندی مواد غذایی



شکل ۳-۴۱ اغلب قطعات بدنه هواپیما از آلومینیوم است



شکل ۳-۴۲



شکل ۳-۴۳

#### ◀ آلیاژهای گروه ۱۰۰۰ (کد گذاری ۱×××)

این آلیاژها دارای خلوص ۹۹ درصدی آلومینیوم بوده و به اصطلاح به آنها آلومینیوم خالص تجاری می‌گویند. این گروه از آلیاژها دارای مقاومت به خوردگی زیاد و فرم‌پذیری بالایی هستند. در تولید فویل‌های بسته‌بندی، تجهیزات حمل و نقل مواد شیمیایی و تجهیزات الکتریکی کاربرد فراوانی دارند (شکل ۳-۴۰).

#### ◀ آلیاژهای گروه ۲۰۰۰ (کد گذاری ۲×××)

این گروه آلیاژی دارای عنصر مس در ترکیب خود هستند و دارای استحکام بالا و مقاومت به خوردگی هستند. از جمله کاربردهای آنها در بدنه هواپیما و بدنه محل حمل بار در کامیون‌هاست (شکل ۳-۴۱).

#### ◀ آلیاژهای گروه ۳۰۰۰ (کد گذاری ۳×××)

منگنز عنصر آلیاژی اساسی در این گروه از آلیاژهای آلومینیوم است. اضافه شدن این عنصر به آلومینیوم مقاومت به خوردگی و استحکام را در این آلیاژها بالا می‌برد. از این سری از آلیاژهای آلومینیوم برای تولید ظروف آشپزخانه قوطی‌های مواد نوشیدنی و تجهیزات سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود. (شکل ۳-۳۶).

#### ◀ آلیاژهای گروه ۴۰۰۰ (کدگذاری ۴×××)

در این گروه از آلیاژها با اضافه کردن سیلسم به آلومینیوم دمای ذوب آن را کم کرده و امکان سیلان فلز را در فرایندهای مثل شکل‌دهی افزایش می‌دهند. این آلیاژها در صنایع خودروسازی و تولید سازه‌های فلزی کاربرد دارند (شکل ۳-۴۲).

#### ◀ آلیاژهای گروه ۵۰۰۰ (کدگذاری ۵×××)

با افزودن منیزیم به آلومینیوم، آلیاژهایی تولید می‌شود که مقاومت زیادی نسبت به خوردگی دارند، بالاخص در برابر آب شور دریا مقاومت عالی دارند. به همین دلیل است که این سری از آلیاژهای آلومینیوم را با نام آلیاژهای دریایی آلومینیوم می‌شناسند (شکل ۳-۴۳).

#### ◀ آلیاژهای گروه ۶۰۰۰ (کدگذاری ۶×××)

در این آلیاژها برای دست یافتن به خواص واسطه‌ای میان استحکام سیلان فلزی مناسب و مقاومت به خوردگی از عناصر آلیاژی سیلیسیم و منیزیم در این گروه از آلیاژها استفاده می‌شود. از این گروه از آلیاژهای آلومینیم برای تولید مقاطع اکستروژن شده برای مصارف ساختمانی استفاده می‌شود چراکه استحکام این آلیاژها با فولاد قابل رقابت است (شکل ۳-۴۴).



شکل ۳-۴۴

#### ◀ آلیاژهای گروه ۷۰۰۰ (کدگذاری ۷×××)

این آلیاژها از اهمیت خاصی در صنایع هوافضا برخوردار است. با افزودن اندکی روی به آلومینیم استحکام آلیاژ به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. به‌طوری که استحکام این آلیاژها در حدود ۵۰۰ MPa خواهد بود. این آلیاژها قابلیت جوشکاری ندارند و اتصال آن‌ها اغلب به صورت مکانیکی مثل پرچکاری است (شکل ۳-۴۵).



شکل ۳-۴۵ پرچکاری بال هواپیما

گروه هشتم از آلیاژهای کار شده آلومینیم، بسیار تخصصی است و اغلب در کاربردهای خارج جو از آن‌ها استفاده می‌شود. این آلیاژها دارای استحکام فوق‌العاده زیادی هستند و برای بالا رفتن استحکام آن‌ها از دیگر عناصر برای تولید آلیاژ استفاده می‌کنند (شکل ۳-۴۶).

#### ◀ آلیاژهای ریختگی آلومینیم:

تولید قطعات به روش‌های مختلف ریخته‌گری یکی از مهمترین روش‌های تولید است. آلومینیم امکان ریخته‌گری به روش‌های ثقیلی در قالب‌های ماسه‌ای و فلزی و همین‌طور قالب‌گیری در قالب‌های تحت فشار را داراست. این قابلیت‌ها، امکان تولید قطعات با کیفیت بالا را فراهم می‌کند. آلیاژهای ریختگی آلومینیم که حاوی سیلیسیم حدود (۵-۱۵٪) در ترکیب آلیاژی خود هستند، این امکان را به آلیاژ می‌دهند که به خوبی در قالب سیلان کرده و تمامی حفره‌های آن را به خوبی پر کنند. باید توجه داشت اضافه کردن سیلیسیم زیاد، آلیاژ تولید شده را شکننده می‌کند.

کدگذاری آلیاژهای ریختگی آلومینیم همانند آلیاژهای کار شده به صورت عددی انجام می‌شود، با این تفاوت که یک نقطه میان عدد سوم و چهارم آن قرار می‌گیرد. اولین عدد سمت چپ نشان‌دهنده عنصر آلیاژی غالب، رقم دوم و سوم نشان‌دهنده نوع آلیاژ و عدد بعد از نقطه نشان‌دهنده نوع تولید است که



شکل ۳-۴۶ شاتل



شکل ۳-۴۷ کاربردهای آلیاژهای آلومینیم

می تواند \* (صفر) به مفهوم حالت ریخته گری شده و یک برای حالت شمش باشد. برای مثال آلیاژ 204.0، آلیاژی از آلومینیم که حاوی مس در ترکیب خود است و به صورت ریخته گری تهیه می شود. جدول زیر کدگذاری و عناصر آلیاژی غالب را در آلیاژهای ریخته گری آلومینیم، نشان می دهد. (شکل ۳-۴۷)

جدول آلیاژهای ریخته گری آلومینیم

۱××.×	آلومینیم با خلوص ۹۹٪ و بالاتر
۲××.×	مس
۳××.×	سیلیسیم با مس یا منیزیم یا هر دو
۴××.×	سیلیسیم
۵××.×	منیزیم
۷××.×	روی
۸××.×	قلع
۹××.×	سایر عناصر
۶××.×	گروه های استفاده نشده

نکته



آلومینیم دارای خواص جالب توجهی است، که شاید پیر سختی از جالب ترین آن ها باشد. در طی پیر سختی که یکی از عملیات های سخت کاری آلومینیم است، آلیاژهای آلومینیم در دمای محیط و با گذشت زمان که می تواند از چند ساعت تا چند ماه به طول بینجامد، دچار افزایش در استحکام خواهد شد. درست به همین دلیل است، که پرچ های بدنه هواپیما را از آلیاژهای پیر سخت شونده آلومینیم می سازند.



شکل ۳-۴۹



شکل ۳-۴۸



## تیتانیم

تیتانیم فلز نسبتاً جدیدی است که به خانواده فلزات مهندسی سبک وزن اضافه شده است نیاز صنایع هوایی به مواد جدید با خصوصیتی همچون مقاومت بالا در مقابل ضربه، وزن سبک و دمای ذوب بالا، عامل اصلی استفاده از تیتانیم و آلیاژهای آن شد. دمای ذوب این فلز که در حدود  $1700^{\circ}\text{C}$  است، توانایی‌های خاصی به این فلز در دماهای بالا می‌دهد. هم اکنون این فلز به دلیل مقاومت به خوردگی بالایی که دارد در صنایع شیمیایی و مهندسی پزشکی هم بکار گرفته می‌شود (شکل‌های ۳-۵۰ و ۳-۵۱).



شکل ۳-۵۰



شکل ۳-۵۱

## خواص و کاربرد تیتانیم

تیتانیم دارای نسبت استحکام به وزن بالایی است و در دماهای بسیار بالا این مقاومت را به خوبی حفظ می‌کند. درست به همین دلیل است که این عنصر به شدت مورد توجه صنایع هوافضا است. این آلیاژ در حدود ۲۵-۳۵٪ وزن موتورهای جدید هواپیماها را تشکیل می‌دهد. به کارگیری تیتانیم در بدنه و اسکلت هواپیما و سفینه‌های فضایی نیز به همین دلیل به شدت مورد توجه است. برای مثال در ساخت یک هواپیمای جنگنده در حدود ۷۰۰۰ کیلوگرم از این فلز استفاده می‌شود که ۳۴٪ وزن آن را تشکیل می‌دهد. مخزن سوخت موشک‌ها نیز از همین عنصر تهیه می‌شود. تیتانیم فلز بسیار فعالی است و مانند آلومینیم یک لایه اکسید بسیار چسبنده در سطح خود تولید می‌کند، که باعث می‌شود در محیط‌های خورنده مقاومت بسیار خوبی از خود نشان دهد. این فلز در محیط‌هایی که شرایط بسیار سخت است از نقطه نظر خوردگی در مقایسه با مس و فولادهای زنگ‌نزن مقاومت بسیار بیشتری دارد. از همین روست که از آن در صنایع شیمیایی و مهندسی عمومی استفاده‌های وسیعی می‌شود. از جمله کاربردهای جدید این فلز در پزشکی است. تیتانیم و آلیاژهای آن در مقایسه با فولاد زنگ‌نزن مقاومت بسیار خوبی از خود در برابر مایعات بدن نشان می‌دهد. این فلز به دلیل بی اثر بودنش، با بافت بدن سازگاری زیادی دارد و دفع نمی‌شود. از این رو اغلب اعضا و پروتزهای خارجی از این فلز ساخته می‌شوند.





شکل ۳-۵۲ کاشت دندان مصنوعی روی لثه



شکل ۳-۵۳ ابزارهای روکش شده با تیتانیم

از کاربردهای پزشکی تیتانیم، استفاده از آن در پروتزهای دندانی است، که شامل یک قطعه تیتانیومی که به صورت پیچ در داخل استخوان فک جاسازی می‌شود و یک دندان که از جنس نوعی سرامیک خاص است به آن پیچ می‌شود (شکل ۳-۵۲). علاوه بر کاربردهایی که بیان شده در ماشین‌کاری از اهمیت خاصی برخوردار است. تیتانیم به صورت تیتانیم کارباید و تیتانیم نیتراید به منظور افزایش مقاومت به سایش ابزارهای برشی، بر روی آن‌ها پوشش داده می‌شوند. تیتانیم نیتراید همان پوشش طلایی رنگی است که بر روی اغلب ابزارهای برش مشاهده می‌کنید.

عنصر اصلی در تشکیل رنگ سفید در صنایع رنگ، اکسید تیتانیم است که همان ماده خام و اولیه برای تولید و استحصال این عنصر محسوب می‌شود. ماده اصلی سفید رنگی که در کاغذهای تحریر به چشم می‌خورد و رنگ‌های سفیدی که برای دیوار مورد استفاده قرار می‌گیرد اکسید تیتانیم است. (شکل ۳-۵۳)

## سایر فلزات غیر آهنی سبک

### منیزیم Mg

◀ **مشخصات ظاهری:** منیزیم فلزی است نرم، به رنگ سفید نقره‌ای که از سبک‌ترین فلزات است.



شکل ۳-۵۴

### ویژگی‌ها

در مقابل اکسیدشدن و خوردگی مقاومت کمی دارد و استحکام آن نیز کم است. منیزیم به صورت پودر و براده و در حالت مذاب، به سرعت می‌سوزد به همین دلیل به هنگام ذوب و ریخته‌گری، منیزیم و آلیاژهای آن باید تماس مذاب را با اکسیژن قطع کرد. منیزیم در هنگام سوختن نور زیادی تولید می‌کند.

### کاربردها

منیزیم به دلیل استحکام کمی که دارد، برای ساخت قطعات صنعتی استفاده نمی‌شود. از منیزیم به عنوان یک ماده گوگردگیر و جاذب اکسیژن در ریخته‌گری فلزات استفاده می‌شود. همچنین در ساخت وسایل آتش‌بازی و نورافشانی به خاطر سوختن سریع و تولید نور زیاد کاربرد دارد. آلیاژهای منیزیم دارای وزن سبک است و براده برداری از آن بهتر از فلزات دیگر است.

◀ **توجه:** برای براده برداری از آلیاژهای منیزیم دار، از مایع خنک کننده غیر از آب مانند روغن مته و روغن چغندر استفاده شود چون براده‌های ظریف این آلیاژ به راحتی آتش می‌گیرند.



شکل ۳-۵۵

◀ **مشخصات ظاهری:** بریلیم فلزی است سخت و شکننده به رنگ سفید نقره‌ای



شکل ۳-۵۶

#### ویژگی‌ها



قابلیت حرارتی فوق‌العاده زیاد و دارای قابلیت الکتریکی خوب است.

#### کاربردها



کاربرد عمده بریلیم در سخت کردن مس و نیکل در مفرغ‌های بریلیم است. بریلیم کاربرد وسیعی در صنایع نظامی، الکترونیکی و اتمی دارد. مانند ساخت مخروط دماغه موشک، شمع موتور هواپیما، بوته‌های ذوب آلیاژهای مس به همراه بریلیم در یاتاقان لوکوموتیو، فنر، ابزارهای ضد جرقه و قالب‌های پلاستیک کاربرد دارند. آلیاژهای بریلیم - نیکل برای ساخت فنرها به دلیل دوام بالا در مقابل پیچش مورد توجه است.



شکل ۳-۵۷



شکل ۳-۵۸



شکل ۳-۵۹

## ارزشیابی پایانی

۱. مهمترین فلزات سبک که در صنعت کاربرد دارند کدامها هستند؟
۲. مهمترین خاصیتی که فلزات سبک دارند چیست؟ در مورد آن توضیح دهید.
۳. دلیل مقاومت به خوردگی در آلومینیم چیست؟
۴. از مهمترین خواص آلومینیم به چند عدد اشاره کنید و کاربردهای مرتبط با آنها را بیان دارید.
۵. مفهوم آلیاژ کار شده و آلیاژ ریختگی چیست؟
۶. مفهوم هر یک از کد گذاریهای زیر را بیان کنید.

2014-O 7075-T6 6061-H 5052-F

۷. از مهمترین خواص مس که آنها را از دیگر فلزات متمایز کرده را نام ببرید و کاربرد هر کدام را بگویید.
۸. مهمترین آلیاژهای مس کدامها هستند و در تولید آنها چه عناصر آلیاژی به کار رفته است؟ از کاربردهای هر آلیاژ مس مثالهایی بیاورید.
۹. روکشهای ابزارهای برش اغلب از چه ترکیب شیمیایی هستند؟



پرسش:

۱. شکل زیر نشان دهنده کاربرد مس در تولید رادیاتورها در خودروهاست کدام خاصیت مس باعث شده است تا این عنصر در این کاربرد به کار گرفته شود؟



۲. شاتون‌ها در خودروها وظیفه انتقال حرکت و نیرو را از پیستون به میل‌لنگ به عهده دارند. در تصویر زیر شاتون مشاهده می‌شود که در انتهای آن بوش برنزی در داخل آن جا زده شده است. فکر می‌کنید چرا از این آلیاژ در این ناحیه استفاده شده است؟ دلیل وجود شیارهای ضربدری درون این بوش را تحقیق کنید.



۳. پروانه قایق‌ها و کشتی‌های کوچک را اغلب از جنس آلیاژهای مس تولید می‌کند فکر می‌کنید چرا از این آلیاژها در این کاربردها استفاده می‌شود؟

۴. هنر مسگری از هنرهای قدیمی ایرانیان است و دیگ‌ها و قابلمه‌های مسی را کمتر کسی است، که ندیده باشد. فکر می‌کنید چرا از مس در زمان‌های قدیم به وفور برای ساخت این وسایل منزل استفاده می‌شده؟ سفید کردن ظروف مسی از مهمترین مراحل در تولید این ظروف است، می‌دانید چرا لازم است، این ظروف را سفیدگری کرد؟



۵. اغلب شیرآلات منازل از برنج و آلیاژهای آن تولید می‌شوند، چرا این آلیاژها تا به این حد در این کاربردها به کار گرفته می‌شوند؟



۶. اسبک قطعه‌ای در موتور خودرو است که حرکات میل به بادامک را به سوپاپ منتقل می‌کند. این وسیله از آلومینیم ساخته می‌شود و سری از جنس تنگستن کارباید دارد. توضیح دهید این طراحی به کدام دلیل است؟ در مورد روش تولید این قطعه تحقیق کنید.



۷. ظروف آلومینیمی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده‌اند و کاربردهای زیادی یافته‌اند. با توجه به سؤال ۴ بیان کنید که چرا این نوع از وسایل منزل جای وسایل مسی را گرفته‌اند؟



۸. چرا در ماشین کاری آلومینیم، برعکس فولادها به ندرت از مایع خنک کننده استفاده می شود؟
۹. مزایای به کارگیری آلومینیم در قوطی های اسپری و قوطی های نوشیدنی ها را بیان کنید.
۱۰. تحقیق کنید در تولید بدنه سازه های فضایی از کدام سری از آلیاژهای آلومینیم استفاده می شود؟
۱۱. براده های حاصل از ماشین کاری برنج به چه صورت است، علت این نوع براده را با توجه به خواص مکانیکی این آلیاژ بیان کنید.
۱۲. تحقیق کنید پوکه فشنگ به چه روشی تولید می شود.
۱۳. برای ماشین کاری یک قطعه از جنس سوپر آلیاژها کدام ابزار مناسب است و چرا؟  
الف) ابزارهای فولاد تندبر      ب) ابزارهای تنگستن کارباید      ج) ابزارهای سرامیکی



## فصل چهارم: مواد غیرفلزی

### ◀ اهداف رفتاری

پس از آموزش این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:

- سرامیک را تعریف کند.
- انواع سرامیک‌ها را نام ببرد.
- خصوصیات انواع سرامیک‌ها را شرح دهد.
- خصوصیات شیشه را شرح دهد.
- پلاستیک را تعریف کند.
- انواع پلاستیک‌ها را نام ببرد.
- خصوصیات پلاستیک‌ها را شرح دهد.
- ترموپلاست را شرح دهد.
- کاربرد ترموپلاست را شرح دهد.
- ترموست‌ها را شرح دهد.
- کاربرد ترموست را بیان کند.
- الاستومر را شرح دهد.
- کاربردهای الاستومر را بیان کند.

## مواد غیر فلزی

### سرامیک‌ها:

#### مقدمه



شکل ۴-۱

سرامیک‌ها موادی هستند که هر سه نوع پیوند کووالانسی، یونی و گاهی اوقات پیوندهای فلزی را دارند. این مواد ترکیبی از فلزات و غیرفلزات هستند که اغلب از اکسیدها، نیترات‌ها و کاربیدها تشکیل شده‌اند. از آن جمله می‌توان به گرانیت و الماس اشاره کرد، در کل می‌توان گفت سرامیک‌ها مواد جامد مصنوعی هستند که جزو فلزات و پلاستیک‌ها نیستند و از یک واژه یونانی به مفهوم کوزه سفالی گرفته شده است، از این رو آشکار است که کاربرد سرامیک‌ها دارای قدمت طولانی است. امروزه طیف وسیعی از مواد را به این نام می‌شناسند که چندان به خاک رس پخته شده که آن را سفال می‌نامند ربطی ندارند، سرامیک‌ها موادی بسیار سخت و ترد هستند که از مواد معدنی تولید شده مقاومت به حرارت بسیار زیادی دارند. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان سرامیک‌ها را به:

◀ سرامیک‌ها با مصارف عمومی

◀ سرامیک‌های مهندسی

◀ شیشه‌ها.

تقسیم‌بندی کرد.

### خواص سرامیک‌ها:

سرامیک‌ها در دماهای بالا مانند یک سیال روان می‌شوند. در این شرایط می‌توان آن‌ها را به خوبی شکل داد و به شکل دلخواه در آورد (شکل ۴-۲).

سرامیک‌ها در دمای بالا استحکام خود را حفظ کرده و به همین دلیل در صنعت کاربردهای زیادی را دارند در مقابل سرامیک‌ها از استحکام کششی بسیار کمی برخوردارند ضمن آن که شکننده و به ضربه و ترک حساس هستند.

سختی بالای این مواد باعث شده تا استفاده از سرامیک‌ها در تولید ابزارهای برش و مواد ساینده افزایش یابد. ابزارهای سرامیکی هم‌اکنون در صنعت به



شکل ۴-۲

منظور برش فلزاتی که استحکام بالایی دارند کاربردهای وسیعی پیدا کرده و بسیار مورد توجه است (شکل ۳-۴).

پایداری شیمیایی و حرارتی این مواد و مقاومت فشاری خوب آن‌ها در دماهای زیاد، موجب شده تا از سرامیک‌ها در تولید پوششهای مقاوم به حرارت نیز استفاده شود. هم‌اکنون تولید سرامیک‌هایی با دمای سیلان  $3900^{\circ}\text{C}$  که خواص مکانیکی خوبی از خود در دمای زیر نشان می‌دهند، به عنوان مواد نسوز در صنعت استفاده می‌شود.

### ◀ سرامیک با مصارف عمومی

این گروه از سرامیک‌ها را همه می‌شناسیم و کاربرد زیادی در وسایل خانگی و ساختمان سازی دارند. کاشی‌ها، سرامیک‌های ساختمانی و حتی سنگ‌ها (که سرامیک‌های طبیعی هستند) برای تزئین و ساخت ساختمان‌ها به کار می‌روند این مواد به دلیل مقاومت به سایش، زیبایی و پایداری در شرایط محیطی بسیار مورد توجه هستند. سهولت در تولید این سرامیک‌ها به دلیل وجود خاک رس (که اساسی‌ترین قسمت آن‌هاست) تولید آن‌ها را مقرون به صرفه کرده است. خاک رس به وفور در طبیعت یافت می‌شود نیاز به تخلیص هم نداشته و به راحتی قابل استخراج است. (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵)

سیمان‌ها جزء خانواده سرامیک‌ها هستند که از استحکام فشاری خوبی برخوردارند.

ولی سایر خواص مکانیکی سیمان‌ها چندان مطلوب نیست، بالاخص در برابر خمش و کشش بسیار ضعیف بوده و چنان‌چه ضربه به آن‌ها وارد آید به آسانی می‌شکنند. لذا به منظور حل این مشکل در تولید بتن که ترکیبی خاص شامل سیمان است، آن‌را به اصطلاح مسلح می‌کنند یعنی به کمک میلگردهای فولادی آج‌دار که در میان لایه‌های بتن قرار می‌گیرد، استحکام کششی آن‌را افزایش می‌دهند. (شکل ۴-۶)



شکل ۴-۶ بتن مسلح



شکل ۳-۴ ابزار برش تولید شده از سرامیک برای تراشکاری فلزات



شکل ۴-۴ به کار گیری سرامیک در وسایل حرارتی



شکل ۴-۵ کاربرد سرامیک در تزئینات ساختمانی

در خانواده سیمان‌ها، سیمان پرتلند از اهمیت خاصی برخوردار است و در حجم وسیع تولید می‌شوند. برای تولید این سیمان آهک و خاک رسی خاصی را در آسیاب‌های بزرگ ریخته که علاوه بر خرد شدن مواد واکنش شیمیایی هم رخ می‌دهد با هم مخلوط کرده و آسیاب می‌کنند (شکل ۷-۴).



شکل ۷-۴ کارخانه تولید سیمان



شکل ۸-۴ دیواره کوره از جنس سرامیک

#### ◀ سرامیک‌های مهندسی

مواد نسوز از جنس سرامیک اغلب به صورت بلوک یا همان آجر نسوز در صنعت ساختمان‌سازی استفاده می‌شود. از کاربردهای این گونه نسوزها می‌توان به عایق‌کاری دیواره کوره‌های پخت آجر، کوره تولید فلزات و تولید شیشه‌ها و کوره‌های عملیات حرارتی اشاره کرد (شکل ۸-۴).

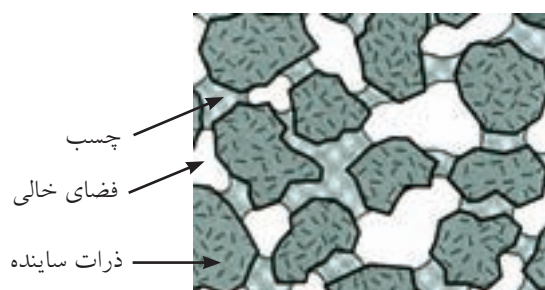
ترکیب شیمیایی نسوزها، تعیین‌کننده میزان حرارتی است که توسط این مواد تحمل می‌شود، اندازه دانه به‌کارگرفته شده هم حایز اهمیت است زیرا اندازه تخلخل‌ها را در آجر تولیدی مشخص می‌کند. از سرامیک‌ها برای برش،

سنگ‌زنی و پرداخت مواد نرم‌تر استفاده می‌شود (شکل ۴-۹). بنابراین اولین خاصیتی که از این مواد در براده‌برداری از قطعات انتظار داریم مقاومت به سایش است. البته از سوی دیگر لازم است، از سختی کافی برخوردار باشند تا بتوانند در ماده در حال برش نفوذ کنند. حرارت بسیار زیاد تولید شده حین فرایند برش توسط ابزار برش نیز باید را تحمل شود و ابزار مذکور مقاومت به حرارت مناسبی هم داشته باشند که تمامی این خواص در سرامیک‌ها موجود است.



شکل ۴-۹

الماس چه به صورت طبیعی و یا مصنوعی، به عنوان ماده‌ای ساینده جزء خانواده سرامیک‌ها شناخته می‌شود. با این وجود الماس‌ها بسیار گران‌قیمت بوده و کاربردهای خاصی دارند. از جمله دیگر سرامیک‌ها که در صنعت به عنوان مواد ساینده و ابزارهای برشی مطرح است اکسید آلومینیم است. در صنعت از مواد ساینده در اشکال مختلف استفاده می‌شود که می‌توان به صورت چسبیده به یکدیگر، یا حالت پوشش تنها باشد. در حالت اول مانند سنگ‌های سنگ‌زنی بلورهای سرامیک به کمک چسب‌ها و رزین‌های خاص به یکدیگر چسبانیده می‌شوند تا یک دیسک یا همان سنگ، سنگ‌زنی را تشکیل دهند. فضای تو خالی ایجاد شده میان ذرات باعث می‌شود تا سنگ به راحتی توسط هوا و مایع خنک‌کننده، خنک‌شده و عملیات براده‌برداری به سهولت رخ دهد (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰

در حالت دوم مواد به صورت پوشش بر روی ورق‌های ضخیم به عنوان کاغذ سنباده مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای کاربردهای سبک مثل براده‌برداری از روی چوب، پلاستیک و پرداخت فلزات استفاده می‌شوند (شکل ۴-۱۱). از کاربردهای دیگر مهندسی سرامیک‌ها می‌توان به نیمه هادی‌ها اشاره کرد.



شکل ۴-۱۱ کاغذ سنباده



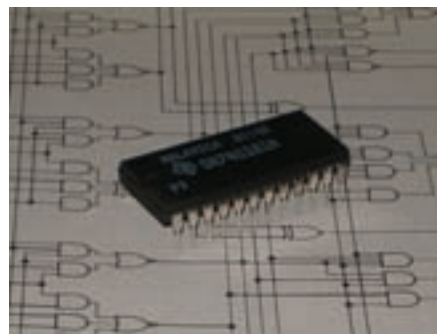
این مواد در صنعت الکترونیک کاربردهای فراوانی دارند. در فلزات الکترون‌ها به صورتی به اتم‌ها متصل‌اند که به راحتی قادر هستند میان اتم‌ها حرکت کرده و جریان الکتریکی را از خود عبور دهند این خاصیت همان رسانش است. ولی مواد نارسانا به شدت الکترون‌های خود را مقید می‌سازند و اجازه رد و بدل شدن آن‌ها را میان اتم‌ها نمی‌دهند، به همین دلیل هیچ گونه جریانی میان این مواد وجود ندارد. در حالی که نیمه‌رساناها خواص میان این دو گروه از مواد را دارند. این عناصر در دمای صفر مطلق خواص نارسانایی داشته ولی چنانچه دما بالا رود و به اتم‌ها انرژی کافی برسد، رسانش در آن‌ها رخ خواهد داد. این دما اغلب در دمای محیط است و این مواد در این دما رسانا هستند. (شکل‌های ۴-۱۲ تا ۴-۱۴)



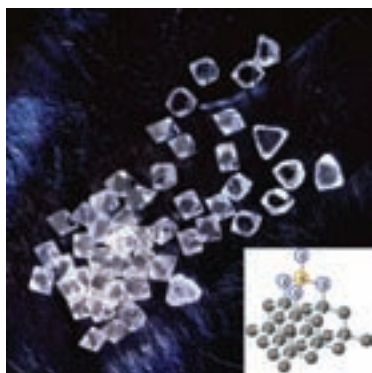
شکل ۴-۱۲



شکل ۴-۱۳



شکل ۴-۱۴



شکل ۴-۱۵ الماس و ساختار

در میان ابزارهای برش، الماس از بیشترین سختی برخوردار است. دلیل این استحکام وجود پیوندهای کووالانسی قوی میان اتم‌های این ماده است، در حقیقت الماس ساختاری کاملاً متشکل از اتم‌های کربن دارد. در سال ۱۹۵۰ الماس مصنوعی از گرافیت در فشاری بالغ بر ۱۰۰۰ MPa و دمای ۳۰۰۰ °C تولید شد. ماده تولید شده اصلاً شفاف نبوده و تیره است و از آن برای تولید ابزارهای برش و به عنوان مواد پرداخت کننده استفاده می‌شود. (شکل ۴-۱۵)

## شیشه‌ها

شیشه‌ها را از پنجره‌ها و بطری‌ها به‌خاطر می‌آوریم. ممکن است تجربه شکسته شدن لیوان شیشه‌ای را در اثر شوک حرارتی ناشی از آب جوش را داشته باشید. قدمت شیشه به حدود ۷۰۰۰ سال پیش باز می‌گردد، در آن دوران شیشه را از ذوب کردن سنگ سودا و شن ساحل می‌ساختند. در حدود ۳۰۰ سال پیش از میلاد اولین پنجره شیشه‌ای با ریختن مذاب شیشه بر روی یک تخته سنگ تولید شده است.

امروزه شیشه با همان اصول قبلی تولید می‌شود بدین ترتیب، از ترکیب شن ساحل که ماده اصلی آن  $\text{SiO}_2$  است و نمک‌ها با حرارت دادن تا  $1720^\circ\text{C}$  ترکیب به حالت روان در می‌آید و با مذاب آن شیشه تولید می‌کند.

شیشه‌ها را می‌توان به راحتی بازیافت کرد. مواد خام تا دمای زیادی گرم شده سپس از میان غلتک عبور داده می‌شود تا تختال‌های شیشه‌ای تولید شوند. برای تولید بطری‌های شیشه‌ای از روش دمش استفاده می‌شود. فشار هوا شیشه را آن‌قدر منبسط می‌کند تا با فشرده شدن آن به بدنه داخلی قالب شکل داخل قالب را به خود بگیرد بطری شیشه‌ای تولید می‌شود. (شکل ۴-۱۶)

ضریب انبساط حرارتی شیشه بسیار بالاست و این در حالی است که ضریب انتقال حرارت آن پایین است. لذا از آن می‌توان به خوبی در کاربردهای خانگی استفاده کرد. یکی از انواع شیشه، پیرکس است در این نوع خاص از شیشه با اضافه شدن اکسیدبور به شیشه معمولی انبساط حرارتی آن پایین آمده و مقاوم به شکست در اثر شوک حرارتی می‌شود. از همین روست که این نوع از شیشه کاربردهای وسیعی در وسایل آشپزخانه و لابراتوارها دارد و مقاومت زیادی به خوردگی و مواد شیمیایی از خود نشان می‌دهد. (شکل ۴-۱۷)



شکل ۴-۱۶



شکل ۴-۱۷ کاربردهای خانگی شیشه



## پلاستیک‌ها

### مقدمه

پلاستیک‌ها مواد مصنوعی جدیدی هستند که به دلیل خواصی مانند سبکی، عایق حرارت و جریان الکتریکی در صنعت کاربردهای فراوانی دارند. نایلون که از مهمترین الیاف ساخته دست بشر است، بعد از جنگ جهانی اول ساخته شد ولی تا اوایل ۱۹۴۰ که در جوراب به کار گرفته شد، کاربرد عمومی نداشت. پلی‌اتیلن نیز به عنوان یکی از مواد پلاستیکی مهم در چند دهه اخیر ساخته شده است و برای تولید انواع پاکت‌های پلاستیکی در صنعت بسته‌بندی استفاده شده است. به طور مثال به مواد به کار رفته در ساخت قطعات خودرویی که در آن سوار می‌شوید دقت کنید که چند درصد آن از پلاستیک تولید شده است.

### پلاستیک‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

◀ ترموپلاست‌ها

◀ ترموست‌ها

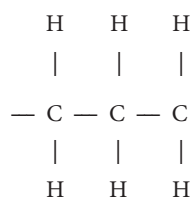
◀ الاستومرها



شکل ۱۸-۴ شکل پلیمر

پلاستیک‌ها از منابعی مانند گیاهان، نفت خام و ضایعات حیوانی استحصال می‌شوند. پلاستیک‌ها از نقطه نظر ساختاری از دسته پلیمرها هستند. پلیمرها مولکول‌های بزرگی از مواد آلی هستند که پایه کربنی داشته و از اتصال مولکول‌های کوچک (مونومر) به یکدیگر ایجاد می‌شوند (شکل ۱۸-۴). اصطلاح ماده آلی همان‌گونه که از نام آن برمی‌آید بدان مفهوم است که ماده از موجودی زنده و یا موجوداتی که زمانی زنده بوده‌اند تولید می‌شوند. این ماده آلی می‌تواند از اجزای یک گیاه و یا نفت که خود منشأ جانوری دارد، باشد. در مجموع عنصر کربن در تمامی مواد آلی وجود داشته و در ترکیب با عناصری همچون هیدروژن، نیتروژن و کلر و فلوئور مواد آلی تولید می‌شود.

به عنوان مثال در مولکول پلی‌اتیلن PE، اتم‌های کربن با هیدروژن، پیوند کووالانسی برقرار کرده است.



## خواص پلاستیک‌ها

با نگاهی کوتاه به اطراف خود، به مناظر طبیعی شهرها، روستاها، حاشیه جاده‌ها و رودخانه‌ها درخواهید یافت که زباله‌های پلاستیکی که نشانه بی‌توجهی ما در حفظ محیط زیست اطرافمان است، چه مناظر نامطبوعی ایجاد کرده‌اند. خوب است بدانید زمان لازم برای تجزیه طبیعی این مواد بسیار طولانی‌تر از مواد فلزی است و پایداری آن‌ها در محیط بسیار زیاد است (شکل ۱۹-۴).

با وجود این مضرات، خواص ویژه‌ای از پلاستیک‌ها وجود دارد، که مصرف آن‌ها را بسیار مورد توجه قرار داده است و این خواص عبارت‌اند از:

۱. این مواد مقاومت زیادی نسبت به خوردگی در محیط و یا محیط‌های خورنده دارند (شکل ۲۰-۴).



شکل ۱۹-۴ شرایط نامطلوب محیط ناشی از انباشته شدن زباله‌های پلاستیکی.



شکل ۲۰-۴ گالن‌های پلاستیکی نگهدارنده اسید

۲. این مواد دارای چگالی کمتر از آب هستند و اغلب بر روی آب شناورند.

۳. این مواد هر چند تغییر شکل‌های زیادی را تحمل می‌کنند ولی استحکام کمتر از فلزات دارند اما به‌خاطر وزن کمی که دارند نسبت استحکام به وزن آن‌ها قابل توجه است.

۴. اغلب مواد ترموپلاست مقاومت کمی نسبت به دمای بالای  $100^{\circ}\text{C}$  دارند و در دماهایی نه‌چندان زیاد سیالیت خوبی از خود نشان می‌دهند استحکام آن‌ها با افزایش دما کاهش می‌یابد.

۵. پلاستیک‌ها بسیار شفاف هستند و امکان تولید در رنگ‌های مختلف را دارند. و تعدادی از آن‌ها را می‌توان آب‌کاری کرد.

## ترموپلاست‌ها



شکل ۴-۲۱ لوله پلی اتیلن (PE)



شکل ۴-۲۲ پمپ از جنس PE



شکل ۴-۲۳ پلی پروپیلین (PP)



شکل ۴-۲۴ پلی ونیل کلراید (PVC)

این گروه از پلاستیک‌ها در اثر اعمال حرارت تغییر شکل می‌دهند، با اعمال نیرو تغییر شکل مورد نظر را می‌گیرند و با سرد شدن شکل جدید خود را حفظ می‌کنند. ۹۰٪ پلاستیک‌ها در حال حاضر از این گروه مواد هستند. این گروه از پلاستیک‌ها به راحتی قابلیت بازیافت دارند و استفاده مجدد از آن‌ها بدون آن‌که خواص آن‌ها تغییر کند، امکان‌پذیر است. از مهمترین پلاستیک‌های این گروه می‌توان به پلی اتیلن (PE) اشاره کرد. تولید این ماده به دلیل فرایند تولید نه‌چندان پیچیده در اغلب مصارف مورد توجه است. تولید لوله از این ماده هم اکنون رایج شده است (شکل ۴-۲۱)، چرا که وزن کمتر و عمر بیشتری دارند. مزیت این نوع لوله‌ها نسبت به لوله‌هایی که از پلیمرهای دیگر ساخته می‌شوند مقاومت در برابر شکسته نشدن در مقابل زلزله و فشارهای زیاد است. این ماده با چگالی زیاد (HDPE) و چگالی کم (LDPE) تولید می‌شود (شکل ۴-۲۲).

پلی پروپیلین PP که شباهت زیادی به پلی اتیلن دارد، دارای وزن مخصوص کم است و مقاومت به خوردگی زیادی از خود نشان می‌دهد. این پلیمر نسبت به محیط‌های اکسند و نور ماوراء بنفش بسیار حساس بوده و تجزیه می‌شود ولی در برابر اسیدها و بازها مقاومت زیادی دارد. رنگ این ماده، سفید شیری و رنگ خود را به‌خوبی حفظ می‌کند. برای تولید لوازم و تجهیزات مواد شیمیایی و آزمایشگاهی اغلب از این ماده استفاده می‌کنند. (شکل ۴-۲۳).

پلی ونیل کلراید PVC نیز با کاربردهای وسیع در صنعت از همین خانواده است. از این ماده برای تولید لوله، دست‌کش و پنجره‌ها استفاده می‌شود. این ماده مقاومت زیادی به آب و مواد شیمیایی دارد ولی مقاومت چندانی به حرارت ندارد، از خاصیت‌های مهم این ماده امکان تولید آن به روش‌های گوناگون است. آکریلیک که برای تولید شیشه‌های پلاستیکی استفاده می‌شود، از گروه ترموپلاست‌هاست. این ماده در ابتدا برای تولید شیشه‌های هواپیما استفاده شد. شفافیت بسیار خوب و مقاومت به حرارت و ضربه عالی از ویژگی‌های آن است (شکل ۴-۲۴).

## ترموست‌ها

در حین فرایند قالب‌گیری ترموپلاست‌ها، مواد تشکیل دهنده دچار واکنش شیمیایی شده و نیروهای قوی بین مولکول مواد آن تشکیل می‌شود. این نیروها که از جنس نیروهای پیوندی کووالانسی است، از نیروهای واندروالس در مولکول‌های ترموپلاستیک‌ها بسیار قوی‌تر است. این پیوند باعث می‌شود جسم تشکیل شده از این مواد دارای یک ساختار جامد بسیار قوی شود و بسیار پایدار باشد. از مهمترین ترموست‌ها می‌توان فنل فرمالدئید که با نام تجاری باکالایت شناخته می‌شود نام برد. این پلیمر بسیار سخت و شکننده ولی مقاوم به حرارت و جریان الکتریکی است و در صنایع برق و الکترونیک کاربرد وسیعی دارد. این ماده در ساخت و تولید کلیدها و پریزهای برق مصرف زیاد دارد. (شکل‌های ۲۵-۴ و ۲۶-۴)



ترموست‌ها بر خلاف ترموپلاست‌ها قابلیت بازیافت ندارند.



شکل ۲۵-۴ کلید و پریز از جنس فنل فرمالدئید



شکل ۲۶-۴ مقاومت حرارتی و الکتریکی بالای باکالایت‌ها از عوامل استفاده آن‌ها در تجهیزات برقی است.

ملامین فرمالدئید MF هم که از دیگر پلیمرهای این گروه است، مقاومت حرارت زیادی داشته و به دلیل مقاومت در برابر آب در تولید ظروف خانگی کاربرد دارد (شکل ۲۷-۴).



شکل ۲۷-۴ ملامین از جنس MF



## الاستومرها

کریستوف کلمب و همراهانش اولین کسانی بودند که لاستیک طبیعی را در آمریکای جنوبی جایی که ساکنان آن توپ‌های پلاستیکی برای بازی می‌ساختند، کشف کردند.

لاستیک طبیعی دارای ساختار زنجیره‌ای بسیار بلند و پیچیده است ولی لاستیک‌های مصنوعی دارای ساختارهای بسیار کوتاه هستند از همین روست که این ماده می‌تواند تا چند برابر طول خود کش بیاید و نیروهای بسیار زیادی را هم تحمل کند و با برداشتن نیروی اولیه از روی این مواد، شکل اولیه خود را حفظ کند. (شکل ۴-۲۸)

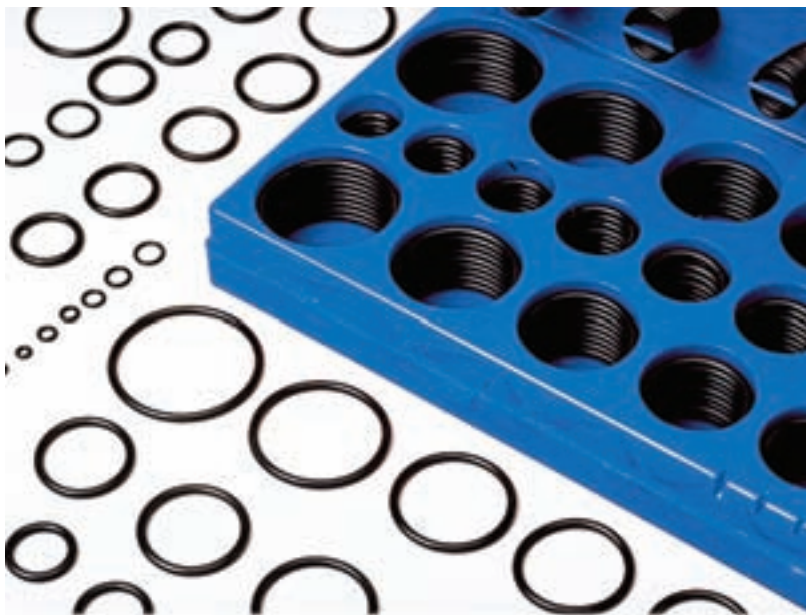
کاربردهای مهم الاستومرها در صنعت برای ساخت دو نوع لاستیک طبیعی (NR) و NBR است. لاستیک NR در کاربردهای صنعتی، مثل تولید لاستیک خودرو، ضربه‌گیرها و قطعات ارتعاش‌گیر استفاده می‌شود (شکل ۴-۲۹). ولی لاستیک NBR به دلیل مقاومت بسیار خوب نسبت به روغن در دماهای بالا، از آن برای تولید قطعات آب‌بندی استفاده می‌شود، مثل کاسه نمدها و ارینگ‌ها. (شکل ۴-۳۰)



شکل ۴-۲۸



شکل ۴-۲۹ لاستیک NR



شکل ۴-۳۰

## ارزشیابی پایانی

۱. سرامیک چیست؟ به چند دسته تقسیم می‌شوند؟
۲. خواص سرامیک‌ها را که باعث شده در کاربردهای خاصی به‌کار گرفته شوند را با ذکر کاربرد نام ببرید.
۳. نیمه‌رساناها از کدام گروه مواد هستند؟
۴. انواع پلاستیک‌ها را نام ببرید و تفاوت میان آن‌ها را بیان کنید.
۵. کاربردهای اصلی لاستیک طبیعی چیست؟



۱. سطح فضاییما مملو از پوشش‌هایی از جنس سرامیک است. خرابی هر جزء از این پوشش‌ها که در اثر برخورد اشیاء موجود در جو زمین یا به دلیل عدم نصب صحیح آن‌هاست، عواقب مصیبت باری به دنبال خواهد داشت. مثل اتفاقی که در سال ۱۹۸۶ برای یکی از فضاییماها رخ داد و ۵ فضاورد در آن حادثه کشته شدند. فکر می‌کنید این پوشش‌ها به چه دلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟



۲. چرخ‌های سنگ، همان طور که می‌دانید برای افزایش صافی سطح و برداشتن لایه‌های بسیار نازک از سطح فلزات به کار می‌آید. این چرخ‌ها همان طور که گفته شد، از ذرات ساییده از جنس سرامیک که کنار یکدیگر چسبانده شده‌اند، استفاده می‌کنند. در اثر کار زیاد فضای میان دانه‌ها پر شده و سنگ عملیات براده برداری را دیگر به درستی انجام نمی‌دهد. به منظور حل این مشکل لازم است لایه‌ای نازک از سطح سنگ برداشته شود، تحقیق کنید، بدین منظور از چه ابزار و با چه جنس‌هایی استفاده می‌شود؟

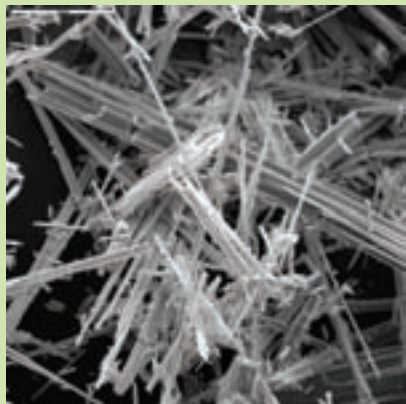
۳. تحقیق کنید بتن از چه عناصر اصلی تشکیل شده است و جزء کدام گروه از مواد است؟

۴. بدنه شمع خودروها از سرامیک با پایه اکسید آلومینیم ساخته می‌شود، چرا از سرامیک بدین منظور استفاده می‌شود؟





۵. یکی از سرامیک‌هایی که سالیان دراز کاربرد مقاومت به حرارت (نسوز) داشته است، آزیست است، در تصویر زیر ساختار این سرامیک را مشاهده می‌کنید. این ماده در حال حاضر منع قانونی جهت استفاده و به‌کارگیری دارد، تحقیق کنید، دلیل آن چیست؟



۶. در تولید سیم‌ها و کابل‌ها از پلیمرها (پلاستیک‌ها) به عنوان روکش استفاده می‌شود، دلیل اصلی این کاربرد چیست؟



۷. دسته‌های قابلمه‌ها و تابه‌ها از چه نوع پلیمری ساخته شده است؟

۸. تحقیق کنید که چرا پلیمرها (بالاخص PE) در مجاورت نور آفتاب به سرعت دچار شکنندگی شدید می‌شوند؟

۹. وجود علامت زیر نشانگر قابلیت بازیابی مواد و یا وسیله‌ای است، که این علامت بر آن حک شده است. فکر



می‌کنید چنانچه این علامت بر روی یک شیئی پلاستیکی باشد، پلیمر سازنده آن از چه گروهی است؟

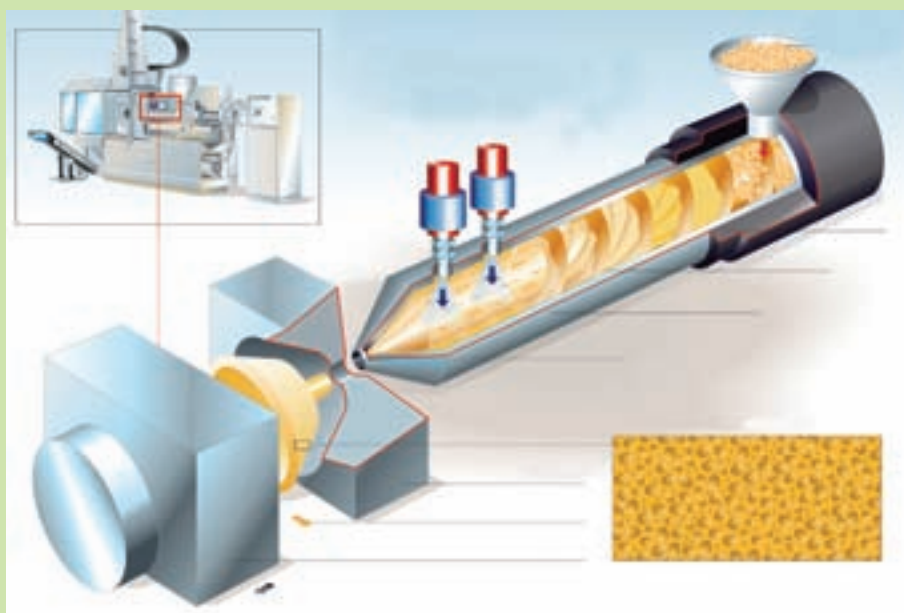
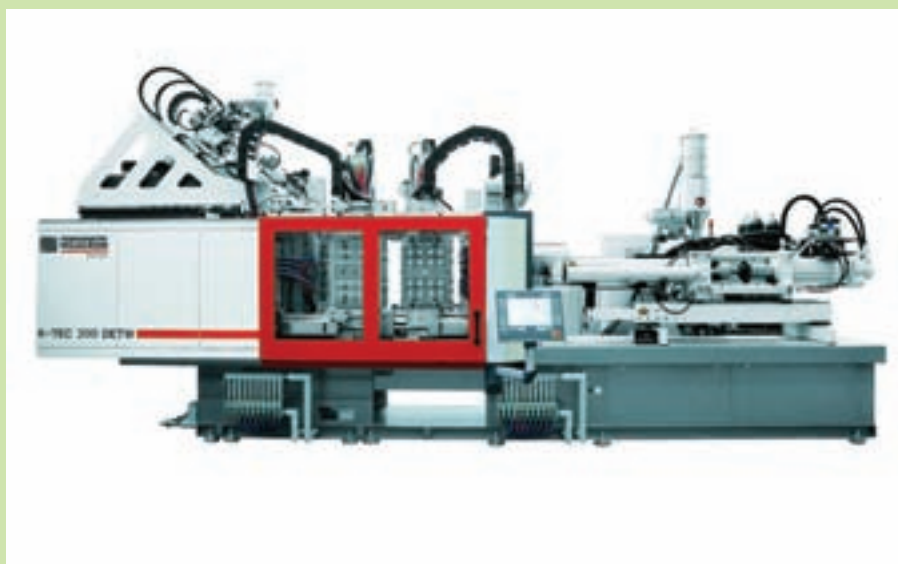


۱۰. تحقیق کنید موارد زیر اغلب از چه پلیمرهایی ساخته می‌شوند:

وسیله	نوع پلیمر
لباس‌ها	
بطری‌ها	
چرخ‌دنده‌های کوچک	
تزئینات داخل خودرو	
ظروف آشپزخانه	
پاکت‌های پلاستیکی	
ظروف پلاستیکی	



۱۱. روش‌های تولید قطعات از پلیمرها اغلب به گونه‌ای هستند که قطعه بی‌نیاز از مراحل تکمیلی تولید است. تصویر زیر روش تولید قطعات پلیمری را به روش تزریقی نشان می‌دهد. این روش تولید را توضیح دهید.



## فصل پنجم: مواد غیرفلزی

### ◀ اهداف رفتاری

پس از آموزش این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:

- روانکاری را تعریف کند.
- نقش روانکاری در صنعت را بیان کند
- ویسکوزیته را تعریف کند.
- انواع روانکارها را نام ببرد.
- خصوصیات روانکارها را شرح دهد.
- انواع روانکارهای مایع را نام ببرد.
- خصوصیات روانکارهای مایع را شرح دهد.
- گریس‌ها را شرح دهد.
- خصوصیات گریس‌ها را شرح دهد.
- روغن‌های برش را شرح دهد.
- وظایف روغن‌های برش را شرح دهد.
- ویژگی‌های روغن‌های برش را شرح دهد.

## روانکاری

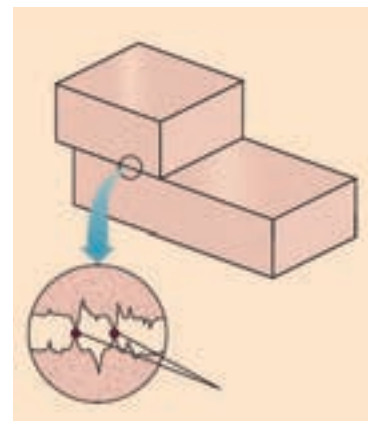
امروزه قطعاتی مثل چرخ‌دنده‌ها، بادامک‌ها و یاتاقان‌ها با دقت زیاد تولید می‌شوند تا بتوان آن‌ها را در کاربردهایی که سرعت زیاد مورد نیاز است، استفاده کرد. ولی این قطعات را بدون روانکاری درست، هرگز نمی‌توان در سرعت‌های بالا به کار گرفت و چنانچه فرایند روانکاری با روانکار مناسب و به طرز صحیحی انجام نگیرد، این اجزا مستهلک خواهند شد. لذا روانکاری از اهمیت زیادی برخوردار است. روانکاری به منظور کم کردن اصطکاک میان دو جزء در تماس با یکدیگر به کار گرفته می‌شوند. ولی منشأ اصطکاک در کجاست؟

در حقیقت سطح واقعاً صاف وجود ندارد، و سطوح ماشین‌کاری شده، دارای پستی و بلندی‌هایی در اندازه میکرون هستند (شکل ۱-۵)، آنچه در حین تماس دو سطح با یکدیگر رخ می‌دهد، عبارت است از تماس نقاط دو در سطح است، نیروی فشاری باعث می‌شود تا این بلندی‌ها تغییر شکل پلاستیک پیدا کرده و به اصطلاح به یکدیگر جوش سرد بخورد. با افزایش نیروی فشاری، تعداد این نقاط زیادتر شده و نیروی لازم برای شکست این جوش‌ها زیادتر خواهد شد. در حقیقت می‌توان گفت که:

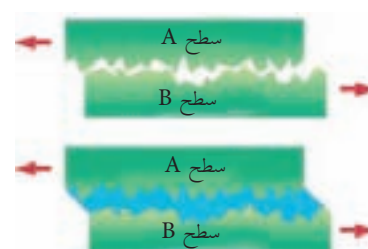
"نیروی اصطکاک، مقاومت در برابر حرکت دو سطح در تماس با یکدیگر است."

همان‌طور که می‌دانید، وجود اصطکاک در اغلب ماشین‌آلات نامطلوب بوده و همواره در پی کم کردن و یا حذف آن هستیم چرا که باعث فرسایش، ایجاد حرارت و در نهایت کم شدن عمر تجهیزات خواهد بود. همان‌طور که بیان شد روانکاری از مهمترین روش‌های حل این مشکل است (شکل ۲-۵).

توجه داشته باشید هیچ‌گاه نمی‌توان اصطکاک را به طور کامل حذف نمود یعنی در حالت روانکاری هم اصطکاک وجود دارد. اصطکاک به وجود آمده در حالت روانکاری را اصطکاک‌تر و اصطکاک به وجود آمده در حالت عدم وجود روانکار را اصطکاک خشک می‌نامند.



شکل ۱-۵ پستی و بلندی سطوح در تماس



شکل ۲-۵ جداسازی سطوح توسط روانکار

همواره در تلاش هستیم تا اصطکاک خشک را با اصطکاک تر جایگزین کنیم. جداسازی سطوح در تماس با یکدیگر، توسط مقدار کافی از روانکار (روغن، گریس، ...) در سطوح فلزی صورت می‌پذیرد، میزان و نوع روانکار تابعی است از میزان بار اعمالی و سرعت دورانی آن.

از مهمترین خواصی که قابلیت یک روانکار مایع یا نیمه جامد را تعیین می‌کند ویسکوزیته یا گرانروی است. برای آنکه درک بهتری از ویسکوزیته حاصل شود می‌توانید به نحوه سیلان عسل و آب توجه کنید. عسل به سختی شروع به جریان می‌کند زیرا این مایع دارای ویسکوزیته بالایی است. در مقابل آب ویسکوزیته کم به راحتی به سیلان در می‌آید و مقاومت چندانی در برابر جریان از خود نشان نمی‌دهد (شکل ۳-۵). در واقع **مقاومت لایه‌های روانکار در برابر حرکت را ویسکوزیته می‌گویند**. وجود ویسکوزیته بالا، در روانکارها باعث می‌شود تا آن‌ها یک قشر نازک بر روی سطوح در حال تماس تشکیل دهند و مانع از تماس مستقیم سطوح با یکدیگر شوند. هر چقدر نیروی میان سطوح بیشتر و سرعت محیطی قطعات کمتر باشد، لازم است از روانکارهایی با ویسکوزیته بالاتر استفاده شود.



شکل ۳-۵ مقایسه ویسکوزیته چند مایع

روانکار باید دارای خواصی همچون قابلیت کنترل اصطکاک، فرسایش و دمای محیط کاری خود باشد تا بتواند به‌خوبی فرایند روانکاری را انجام دهد. براساس میزان گرانروی روانکارها به سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

#### ◀ روانکارهای مایع

الف) روغن‌های خالص

ب) روغن‌های معدنی و مواد افزودنی

ج) روانکارهای سنتتیک

#### ◀ روانکارهای نیمه جامد

#### ◀ روانکارهای جامد.

## روانکارهای مایع

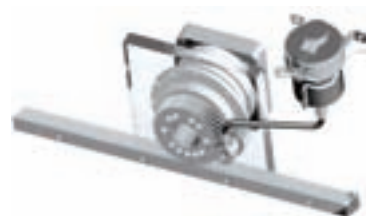
این نوع روانکارها، اغلب مایعاتی هستند که می‌توانند به خوبی با اعمال فشار هیدرولیکی به فضای میان دو سطح در حال روانکاری نفوذ می‌کنند و سطوح مورد نظر را روانکاری می‌کنند. علاوه بر روانکاری، این نوع از روانکارها گرمای میان سطوح در حال تماس را جذب کرده و آن را از محیط خارج می‌سازند، این نوع از روغن‌ها از موادمعدنی مثل نفت خام و یا قطران زغال سنگ و یا از منابع طبیعی مثل گیاهان و بعضاً حیوانات ساخته می‌شوند.

اغلب روغن‌ها به صورت مستقیم و خالص قابل استفاده نیستند، بنابراین، روغن‌ها را با مواد افزودنی خاصی ترکیب می‌کنند تا بتوانند ویسکوزیته کافی و خواص مورد نظر را در آن‌ها ایجاد کنند.

در حقیقت بیشتر از ۳۰۰ نوع روغن مایع وجود دارد که کاربردهای متنوعی را در برمی‌گیرند. در این میان کاربردهای زیر که دسته بندی نیز حساب می‌شوند از اهمیت بیشتری برخوردار هستند:

- روغن‌های خودرو
- روغن‌های کمپرسورهای هوا
- روغن‌های چرخ‌دنده
- روغن‌های توربین
- روغن‌های یاتاقان
- روغن‌های هیدرولیک
- روغن‌های موتورهای الکتریکی
- روغن‌های برشکاری (ماشین کاری)
- روغن‌های کمپرسورهای یخچال

هر کدام از روانکارها و روغن‌های گفته شده دارای استاندارد خاصی هستند که شرح آن‌ها و خواص مربوط به آن در استاندارد مربوط اشاره شده است. از مهمترین انواع روغن‌های صنعتی روغن موتور خودروهاست که در وسعت زیادی به کار گرفته می‌شوند (شکل ۴-۵). استاندارد این نوع از روغن‌ها توسط SAE انجام شده است و از آنجا که این استاندارد از جامعیت کافی برخوردار است، در اغلب نقاط جهان به عنوان شماره گذاری رایج شناخته می‌شود. در این روش از عدد دورقمی به عنوان ویسکوزیته در دمای پایین که با حرف W همراه است و عدد دورقمی دوم (بدون حرف W) به مفهوم ویسکوزیته در دمای بالاست استفاده می‌شود. برای هر کدام از این اعداد در جداول خاص میزان ویسکوزیته و دماهای قابل تحمل اشاره شده است. برای مثال



شکل ۴-۵ روغن‌های مورد استفاده در قطعات خودرو



(SAE 10W-40) به مفهوم روغن با ویسکوزیته ۱۰ در دمای پایین و ویسکوزیته ۴۰ در دمای بالا است. ممکن است در ادامه صرفاً یک عدد گزارش شود، (عدد دوم حذف شود) و این بدان مفهوم است که این روغن شرایط محیطی سرد و گرم را تحمل می‌کند. هرچقدر عدد به کار گرفته شده بزرگتر باشد، لزجت (گرانروی) بیشتر است.

#### آیا می‌دانید



ترکیب یک اسید چرب و باز را صابون می‌نامیم، کیفیت یک صابون متأثر از کیفیت اسید چرب آن است.

### روانکاری‌های نیمه جامد (گریس‌ها)

گریس‌ها از انواع نیمه جامد روانکارها هستند که بسیار مورد توجه هستند. ترکیب شیمیایی این نوع روانکارها شامل روغن‌های معدنی و صابون، مواد افزودنی دیگر نیز به گریس‌ها اضافه می‌شوند تا خواص خاصی را در آن‌ها ایجاد کنند. این مواد حین فرایند روانکاری تحت تأثیر فشار به حالت مایع در می‌آیند و با تمام شدن فرایند حالت جامد خود را باز می‌یابند. از جمله خواص گریس‌ها می‌توان به :

- الف) آب‌بندی اجزاء که مانع ورود گرد و غبار به داخل اجزاء می‌شوند.
  - ب) نیاز به بررسی و واریسی زیاد نداشته و اغلب تا مدت‌ها دوام دارند.
  - ج) اغلب میزان کمی از آن‌ها، روانکاری خوبی را باعث می‌شوند.
  - د) پایداری خوبی در محیط‌های گوناگون دارند.
- گریس‌ها براساس نوع صابونی که در تولید آن‌ها به کار می‌رود طبقه‌بندی می‌شوند، چرا که اغلب کاربرد آن‌ها به نوع صابونی که در آن‌ها وجود دارد مربوط است. چهار نوع گریس در کاربردهای عمومی وجود دارند:

- ▶ گریس با پایه کلسیم
- ▶ گریس با پایه سدیم
- ▶ گریس با پایه لیتیم
- ▶ گریس با پایه باریم

گریس‌ها با پایه کلسیم مقاومت خوبی در برابر آب دارند ولی دمای بالا را تحمل نمی‌کند. از این گریس‌ها، برای روغن‌کاری پمپ‌ها استفاده می‌شود. نوع سدیدار آن‌ها هرچند مقاومت به حرارت خوبی دارد و در بلبرینگ‌ها و رولبرینگ‌ها به کار می‌رود ولی مقاومت به آب، کمی دارد. (شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶)



شکل ۵-۵

### روانکارهای جامد

روانکارهای جامد لایه نازکی بر روی سطوح در تماس با یکدیگر قرار می‌دهند تا این سطوح به راحتی بر روی یکدیگر بلغزند. به کارگیری این نوع از روانکارها با پیشرفت تکنولوژیکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این روانکارها دارای مقاومت بسیار کم، سختی کم، پیوستگی، پایداری حرارتی و خستگی بودن از لحاظ شیمیایی هستند. مواد غیرآلی مثل گرافیت، دی‌سولفیدمولیبدن، دی‌سولفید تنگستن و از جمله مواد آلی موم‌ها از انواع روانکارهای جامد هستند. این نوع روانکارها را در کاربردهایی به کار می‌گیرند که از انواع دیگر روانکارها نتوان استفاده کرد. چرا که دمای زیاد و شرایط سخت مانع از به کارگیری دیگر انواع روانکارهاست. شرایط سخت، شرایطی است که استفاده از گریس یا روغن، آلودگی محیط را به وجود می‌آورد (در صنایع غذایی) یا در پروانه کشتی فقط استفاده از روانکار جامد امکان‌پذیر است زیرا روغن و گریس، شسته می‌شوند.



شکل ۵-۶

در کاربردی دیگر مانند دینام که نیاز به هدایت الکتریکی نیز همزمان وجود دارد فقط روانکار جامد قابل استفاده است.

### روغن‌های برش (ماشین‌کاری)

روغن‌های برش در ماشین‌کاری‌ها به منظور کم کردن هزینه‌ها و افزایش سرعت تولید، مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حدود ۲۰۰ سال قدمت دارند. در ابتدا با به کارگیری آب، ۳۰ تا ۴۰ درصد، سرعت برش افزایش یافت. اما موجب خوردگی فلزی شد.

۱۰ درصد انرژی مصرف شده حین فرایندهای ماشین کاری به صورت گرما تلف می شود. افزایش دمای ناحیه برش هرچند باعث می شود تا مقاومت قطعه در ناحیه برشکاری کاهش یابد و فلزات راحت تر بریده شود ولی معایبی همچون افزایش فرسایش ابزار و کم شدن عمر آن، کم شدن صافی سطح را باعث می شود. اغلب به دلیل زیاد بودن ظرفیت حرارتی آب، از آب به عنوان مایع کمکی در روغن های برش استفاده می شود.

امروزه روغن های مورد استفاده در براده برداری علاوه بر خنک کاری، عمل روانکاری و محافظت قطعه در مقابل خوردگی را نیز برعهده دارند. در حقیقت عده ای از مواد افزودنی که به این روغن ها اضافه می شود، در ناحیه برش با فلز در حال برشکاری واکنش شیمیایی می دهند و علاوه بر تسهیل در امر برشکاری، لایه ای خاص بر روی سطح براده و قطعه تشکیل می دهند که باعث می شود که براده و قطعه کار اصطکاک کمتری با ابزار داشته باشند. این موضوع باعث خواهد شد که علاوه بر افزایش عمر ابزار، نیروی ماشین کاری نیز کاهش یابد و صافی سطح قطعه کار افزایش پیدا کند.

در (شکل ۷-۵) اثر وجود روغن برشکاری در شرایط مختلف (سرعت دورانی متفاوت و ابزار متفاوت) بر عمر ابزار نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می کنید عمر ابزار در اثر وجود روغن برشکاری به شدت افزایش می یابد.



نکته

عمر ابزار در اثر استفاده از روغن برشکاری به شدت افزایش می یابد.

روغن برش، اثرات دیگری هم دارد که از آن جمله می توان به جذب ذرات و غبار ناشی از برشکاری، اشاره کرد. در پاره ای از موارد، بخارها و این ذرات از درجات سمیت برخوردارند که این سیال مانع از پراکنده شدن آن در محیط اطراف خواهد شد.

شرایط بهداشتی نگهداری روغن های برشکاری از اهمیت خاصی برخوردار است. همواره لازم است ترکیب شیمیایی، PH محیط و میزان رشد باکتری ها و قارچ ها را به دقت کنترل کرد. عدم مقابله درست با باکتری ها و قارچ ها علاوه بر آسیب به ماشین آلات می تواند باعث ایجاد بیماری های خاص در پوست بدن شود. چنانچه PH نیز به درستی کنترل نشود، می تواند باعث خوردگی اجزاء و یا آسیب جدی به قطعات شود. تصفیه و جداسازی براده از روغن برشکاری از اهمیت خاصی برخوردار است و لازم است تمهیداتی، بدین منظور اندیشیده شود.

در یک تقسیم بندی، می توان روغن های برش را به چهار دسته زیر تقسیم کرد:

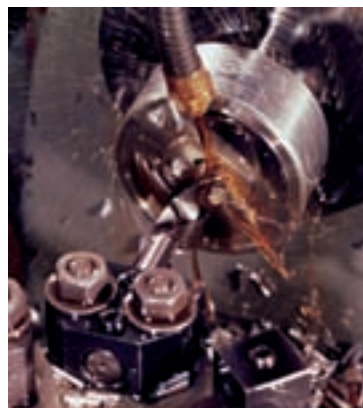
۱. **روغن های خالص:** در این دسته از روغن ها به صورت خالص و بدون هیچ ماده اضافه شدنی استفاده می شوند.

۲. **روغن های قابل حل در آب:** اغلب روغن های فرآوری شده با درصد زیاد در آب ترکیب می شوند و به عنوان روغن برش استفاده می شوند.

۳. **روغن های نیمه سنتتیک:** حاوی میزان متوسطی از روغن های محلول آب و موادی که به فرایند یکنواختی روغن و آب کمک می کنند.

۴. **روغن های سنتتیک:** این سیالات حاوی آب و مواد اضافه شدنی دیگری است که از روغن های معدنی نیستند.

در شکل ۵-۷ انواع روغن های برش را برای عملیات مختلف مشاهده می کنید. سه گروه آخر روغن های برای عملیات برشکاری، به صورت خالص از بازار خریداری شده و با مقدار مناسب از آب ترکیب شده و بکار می روند. لازم به ذکر است که هیچ یک از تقسیم بندی های بالا ربطی به کاربرد مایع خنک کاری ندارد. جدول ۱-۵ مزایا و معایب هر یک از سیالات را نشان می دهد.



شکل ۵-۷ روغن های برش در انواع مختلف

جدول ۵-۱

نوع سیال برش	روغن های خالص	روغن های قابل حل در آب	نیمه سنتتیک	سنتتیک
۲.۳	<ul style="list-style-type: none"> <li>- روانکاری عالی</li> <li>- کنترل زنگ زدگی سطح</li> <li>- راحتی در کنترل جریان</li> <li>- طول عمر زیاد</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- روانکاری خوب</li> <li>- کم کردن حرارت</li> <li>- کنترل راحت جریان</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- کاهش عالی دما</li> <li>- تمیز بودن</li> <li>- کنترل خوب زنگ زدگی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- خیلی تمیز</li> <li>- کاهش عالی دما</li> <li>- عدم حساسیت به ناخالصی آب</li> <li>- کف کم</li> <li>- مایع شفاف</li> </ul>
۳.۱	<ul style="list-style-type: none"> <li>- گران بودن</li> <li>- تولید گرمای زیاد</li> <li>- خطر آتشگیری</li> <li>- وجود بخار روغن در محیط</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- حساس به ناخالصی آب</li> <li>- بخارهای زیاد و دود</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ایجاد کف</li> <li>- حساس به ناخالصی آب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- روانکاری کم</li> <li>- بدون لایه محافظ روغن</li> </ul>

## ارزشیابی پایانی

۱. روانکاری را تعریف کنید.
۲. اهمیت روانکاری در صنعت را شرح دهید.
۳. ویسکوزیته را شرح دهید.
۴. انواع روانکارها را نام ببرید.
۵. تفاوت گریس‌ها با روغن‌ها را بنویسید.
۶. وظایف روغن‌ها برای عملیات برشکاری چیست؟
۷. انواع روغن برای برشکاری را نام ببرید.
۸. ویژگی‌های انواع روغن‌ها برای برشکاری را بنویسید.



تحقیق کنید برای روانکاری قسمت‌های مختلف دوچرخه کدام روانکار مناسب است.

تحقیق کنید برای روانکاری قسمت‌های مختلف ماشین تراش کدام روانکار مناسب است.



## فصل ششم: فناوری نانو

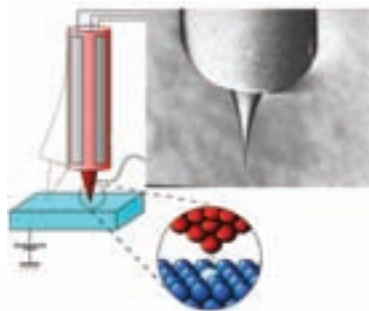
### ◀ هدف‌های رفتاری

پس از آموزش این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:

- فناوری نانو را تعریف کند.
- خصوصیات فناوری نانو را شرح دهد.
- دلایل استفاده از فناوری نانو را شرح دهد.
- نانو مواد را تعریف کند.
- نانو پلیمر و نانو سرامیک را توضیح دهد.

### مقدمه

در سال ۱۹۵۹ دانشمندی به نام ریچارد فیمن، در یک سخنرانی گفت که می‌توانیم چیزهای کوچکی بسازیم که همان کاری را که می‌خواهیم انجام دهند. مثلاً می‌توان ۲۵ هزار صفحه دایره‌المعارف را در ابعاد یک سر سوزن جا داد و تمام کتاب‌های جهان را در جزوه‌ای ۳۵ صفحه‌ای حفظ و نگهداری کرد. او گفت به شرطی می‌توان به این هدف دست پیدا کرد که کارها در مقیاس اتم و مولکول انجام شود و اتم‌ها را طوری که خودمان می‌خواهیم یکی یکی بچینیم. برای چیدن اتم‌ها باید از دستگاه‌ها و ابزار اندازه‌گیری خاصی استفاده کنیم تا نسبت‌ها را کوچک کند. (شکل ۱-۶)



شکل ۱-۶ میکروسکوپ الکترونی برای جابه‌جایی اتم‌ها

حالا انسان‌ها می‌توانند با شیوه خود، طبیعت جهان ماده را آن طوری که خودشان می‌خواهند بسازند. تنها کافی است که مواد پایه‌ای جهان ماده که همان اتم و مولکول است را یک بار دیگر اتم به اتم و مولکول به مولکول بچینند. در حال حاضر هزاران دانشمند می‌توانند مولکول‌ها و اتم‌ها را در آزمایشگاه‌ها به اندازه بزرگ ببینند. به قول «هرست استومر» برنده جایزه نوبل: «ظهور نانوفناوری» می‌تواند به بشر تسلط لازم برای کنترل بی‌سابقه و کم‌نظیر بر جهان ماده را بدهد.

نانوفناوری بر صنایع الکترونیک و داروسازی، مراقبت از سلامتی، آب و هوا و محیط زیست، انرژی، شیمی و کشاورزی، علوم رایانه، فناوری اطلاعات اثر می‌گذارد و سلامتی و رفاه مردم را بالا می‌برد. این علم، شکل بیشتر صنایع را تغییر می‌دهد و باعث ساخت وسایل کوچک‌تر، ارزان‌تر، سبک‌تر با تحمل و سرعت بیشتر می‌شود. به این ترتیب مواد خام و انرژی کمتری مصرف می‌شود. (شکل ۲-۶) از دیگر اثرات نانوفناوری در کار رایانه‌هاست که سرعت آنها را بیشتر می‌کند و علوم ارتباطات را هم گسترش می‌دهد. نانوالکترونیک ظرفیت تجهیزات نظامی را گسترش می‌دهد، روبات‌ها را پیشرفته‌تر می‌کند و به علوم فیزیک، شیمی، بیولوژی و مهندسی تولدی دوباره می‌دهد. با نانوفناوری می‌توان ساختمان‌ها و خودروهایی با مصالح و مواد اولیه سبک‌تر و مقاوم‌تر ساخت. برد هواپیماهای نظامی و ظرفیت باربری هواپیماها بیشتر می‌شود. مصرف سوخت



شکل ۲-۶ مقایسه در ابعاد نانو

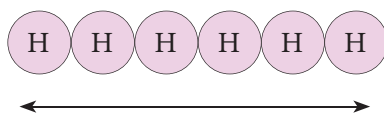


در ماشین‌ها کاهش می‌یابد. امکان پرتاب سفینه به خارج از مدار زمین و حتی خارج از منظومه شمسی افزایش می‌یابد. هواپیماها، موشک‌ها و ایستگاه‌های فضایی از قدرت و کاربرد بیشتر و وزن سبک‌تر و مواد با ثبات‌تری برخوردار می‌شوند.

فناوری نانو، امکان استفاده از انرژی حرارتی خورشید را برای تجهیزات الکتریکی و دستگاه‌های ذخیره انرژی افزایش می‌دهد، آب و هوای آلوده یک مشکل جهانی است. محصولات با فناوری بالا به مردم اجازه می‌دهد تا کمتر از تأثیرات سوء آب و هوایی ضرر کنند. همچنین، تجهیزات پیشرفته و ارزان برای تحقیقات پزشکی و مراقبت از سلامتی را فراهم می‌کند.

### نانومواد

موادی که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در مقیاس ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد، مواد نانویی یا نانومواد خوانده می‌شوند. یک نانومتر برابر با یک میلیاردم متر ( $10^{-9}$  متر) است. این اندازه ۱۸۰۰۰ بار کوچکتر از قطر یک تار موی انسان است. (شکل ۳-۶)، به طور



شکل ۴-۶ یک نانومتر

میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند که این خود به نوع اتم بستگی دارد. (یک نانومتر = ۶ اتم هیدروژن در کنار یکدیگر) (شکل ۴-۶) همه مواد از جمله فلزات، نیمه‌هادی‌ها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و پلیمرها در ابعاد نانو می‌توانند وجود داشته باشند. همچنین محدوده فناوری نانو می‌تواند به صورت ذرات بی‌شکل (آمورف)، کریستالی، آلی، غیرآلی و یا به صورت منفرد، مجتمع و پودر باشد.

### دسته‌بندی نانومواد

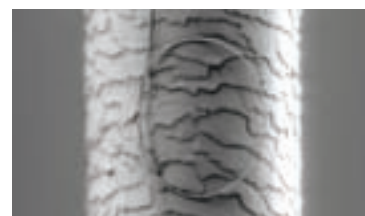
مواد در مقیاس نانو به دسته‌های زیر قابل تقسیم است.

- |                |                 |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|
| ۱. نانولایه‌ها | ۲. نانو پوشش‌ها | ۳. نانو خوشه‌ها |
| ۴. نانوسیم‌ها  | ۵. نانولوله‌ها  | ۶. نانو حفره‌ها |
| ۷- نانو ذرات   |                 |                 |

اکنون به معرفی بعضی از موارد بالا می‌پردازیم:

کوچک شدن اندازه ذرات در حد نانومتر، سبب تغییراتی در خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها می‌شود. مهمترین آن‌ها عبارت‌اند از:

۱. افزایش نسبت سطح به حجم
۲. ورود اندازه ذره به قلمرو مکانیک کوانتومی به جای مکانیک نیوتونی
- افزایش نسبت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد، بر خصوصیات ذره در حالت مجزا و بر واکنش آن با دیگر مواد اثر می‌گذارد. افزایش سطح، واکنش‌پذیری نانومواد را به شدت افزایش می‌دهد. زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده نمونه بسیار زیاد است.



شکل ۳-۶ موی سر

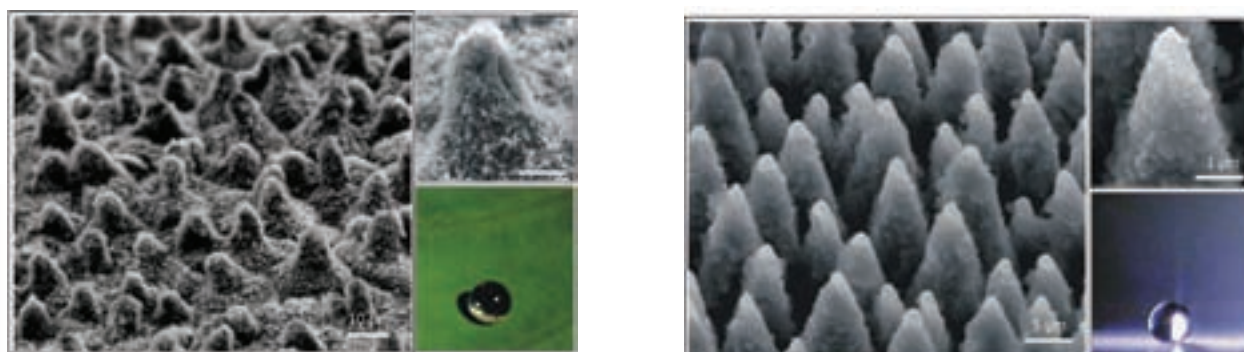
## ۱. نانولایه‌ها

در دنیای کنونی تغییرات سطحی به یک فرایند مهم و اساسی تبدیل شده است. در این مورد روش‌هایی شامل ایجاد لایه‌های نازک یا پوشش‌ها بر روی سطوح، افزایش کارایی و محافظت سطوح را به دنبال دارد. رسوب یک لایه نازک (نانولایه) برای پوشش‌دهی در اکثر صنایع جایگاه مهمی یافته است. فیلم‌های نانویی لایه نازک، که بر روی سطح یک زیرپایه نشانداده می‌شوند کاربردهای عمدتاً الکترونیکی دارند. همانند زیرلایه‌ها، خازن‌ها، قطعات حافظه، آشکارسازهای مادون قرمز و راهنماهای موجی سطوح را افزایش داد.

## ۲. نانوپوشش‌ها

پوشش‌ها دارای کاربردهای متنوعی از صنایع اتومبیل گرفته تا صنایع لوازم خانگی هستند. این پوشش‌ها سطوحی را که در معرض آسیب‌های محیطی مانند باران، برف، نمک‌ها، رسوب‌های اسیدی، اشعه ماوراءبنفش، نور آفتاب و رطوبت هستند را محافظت می‌کند. فناوری نانو ایجاد نانوپوشش‌ها را پیشنهاد می‌کند.

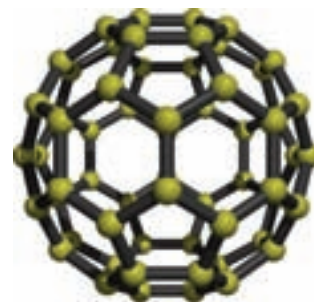
نانوپوشش‌های حفاظتی برای افزایش مقاومت در مقابل خوردگی، افزایش سختی سطوح و حفاظت در مقابل عوامل مخرب محیطی هستند. علاوه بر آن، فناوری نانو از خش برداشتن، تکه‌تکه شدن و خرده شدن روکش‌ها جلوگیری می‌کند. از موارد استفاده نانوپوشش‌ها می‌توان به روکش‌های ضد انعکاس در مصارف خودروسازی و سازه‌ای، روکش‌های محافظ (ضد خش، غیرقابل رنگ‌آمیزی، و قابل شستشوی آسان) و روکش‌های تزئینی اشاره کرد. (شکل ۵-۶)



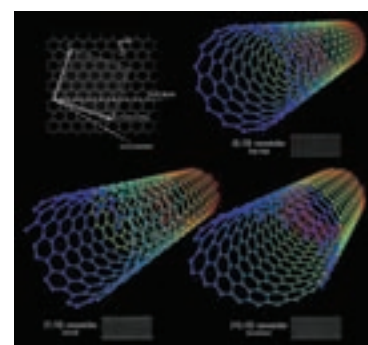
شکل ۵-۶ تصویر راست: پوشش تولیدشده به روشی که در نیلوفر آبی وجود داد آن را ضدآب کرده است.  
تصویر چپ: وجود پرزهای ضعیف بر روی برگ نیلوفر آبی آن را ضدآب کرده است.

### ۳. نانولوله‌ها

در سال ۱۹۹۱، نانولوله‌های کربنی توسط سومیو ایجیمو کشف شدند. الیاف الیاف متداول کربن، گرافیت و الماس هستند. نوع سوم کربن خالص باکی‌بال است. این نوع گردترین و متقارن‌ترین مولکول شامل ۶۰ اتم کربن است. (شکل ۶-۶) نانولوله‌های کربنی یکی از مواد نانوساختار، متشکل از اتم‌های کربن به شکل استوانه توخالی است. این نانولوله‌ها ۵۰۰۰۰ بار نازک‌تر از موی انسان است. نانولوله‌های کربنی دارای استحکام کششی و مدول الاستیک بسیار زیادی است، در مقایسه با فولاد که دارای استحکام کششی، ۴۰۰ مگاپاسکال است، استحکام کششی نانولوله‌های کربنی ۱۵۰۰۰۰ مگاپاسکال است. نانولوله‌ها با خواص مکانیکی، الکتریکی و اپتیکی برجسته، در مصارف الکترونیکی، نوری، پلیمری، هوافضا و پزشکی با بیشترین توجه روبه‌رو شده‌اند. در (شکل ۶-۷) نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و چنددیواره را مشاهده می‌کنید. مواد پلیمری و سرامیکی نیز در ابعاد نانو تولید می‌شوند.



شکل ۶-۶ مولکول C60



شکل ۶-۷ نانولوله کربنی تک‌دیواره

### نانوپلیمرها

خواص مکانیکی و ترموفیزیکی (خواص فیزیکی وابسته به دما نظیر: کشش، سختی و...) مواد پلیمری به شدت وابسته به اندازه و شکل آن‌هاست. با توجه به این وابستگی تهیه و کنترل مواد پلیمری در مقیاس نانومتر برای بهبود خواص، حائز اهمیت است.

از جمله پلیمرهایی که در بحث نانومواد جایگاه ویژه‌ای دارند، پلیمرهای رسانا هستند. پلیمرهای رسانا که در طول سه دهه اخیر توجه زیادی را به خود معطوف داشته‌اند، به سبب تغییر در خواص نوری و الکتریکی‌شان در ابعاد نانومتر، محتمل‌ترین سیستم‌ها برای کاربردهای نانو الکترونیک هستند. خانواده پلی‌آنیلین نمونه‌ای از این پلیمرهاست.

یکی دیگر از کاربردهای نانوپلیمر در صنعت لاستیک‌سازی است. با اضافه کردن نانومواد به ترکیبات لاستیک، به دلیل پیوندهایی که در مقیاس اتمی بین این مواد و ترکیبات لاستیک صورت می‌گیرد، علاوه بر این که خواص فیزیکی آن‌ها بهبود می‌یابد، می‌توان به افزایش مقاومت سایش، افزایش استحکام، بهبود خاصیت مکانیکی، افزایش حد شکستگی اشاره کرد. در زیبایی ظاهری لاستیک

نیز تأثیر گذاشته و باعث لطافت همواری، صافی و ظرافت شکل ظاهری لاستیک می‌گردد. همه این‌ها به نوبه خود باعث می‌شود که محصولات نهایی، مرغوب‌تر، با کیفیت بالا، زیباتر و در نهایت بازار پسند باشند.

### نانوسرامیک‌ها

با پیدایش نانو فناوری، نانوسرامیک‌ها هرچه بیشتر اهمیت خود را نشان دادند. زمان تولید نانوسرامیک‌ها را می‌توان دهه ۹۰ میلادی دانست. در این زمان نانو پودرهای سرامیکی تولید شدند. با استفاده از نانو پودرها، دمای ذوب کاهش می‌یابد و تکنیک‌های ساخت مواد ساده‌تر می‌شود و در نتیجه هزینه تولید نیز کاهش خواهد یافت.

محصولات نانوسرامیکی می‌تواند دارای خواص مکانیکی بهتر، استحکام بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتر باشد و همچنین خواص الکتریکی و مغناطیسی و نوری مطلوب‌تری خواهند داشت که ویژگی منحصر به فردی برای سرامیک‌ها است.

یکی از مشکلات سرامیک‌ها شکنندگی آنهاست که با تولید سرامیک‌هایی در مقیاس نانو قابلیت شکل‌پذیری آنها بهبود می‌یابد. سرامیک‌ها در کاربردهای هوافضا در حفاظت حرارتی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربردهای سرامیک‌های ساخته‌شده با فناوری نانو در حسگرها، الکترونیک نوری و سازه‌های فضایی در حال گسترش است. (شکل ۸-۶)



شکل ۸-۶ سطح نانوسرامیک مانع از رسیدن حرارت به گل می‌شود.

## ارزشیابی پایانی

۱. فناوری نانو را تعریف کنید.
۲. کاربرد فناوری نانو در صنعت را بنویسید.
۳. تعریف نانومواد را بنویسید؟
۴. مواد در مقیاس نانو به چند دسته تقسیم می شوند؟
۵. کاربرد نانوپلیمرها و نانوسرامیک ها را بنویسید؟





تحقیق کنید

تحقیق کنید اثر فناوری نانو بر مقاومت فلزات چگونه است؟

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY			استاندارد آلمان			BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND			Vergütungsstahle فولادهای بهسازی			Heat-treatables	
Stoff-Nr Standard No	Kurzname Symbol DIN	Bezeichnung Designation Euronorm 83	Analyse				ترکیب			Composition			
			C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Somstige Others %		
1,0402	C 22	-	0,17-0,24	0,40	0,30-0,60	0,045	-	-	-	-	-	-	
1,0501	C 35	1C35	0,32-0,39	0,40	0,50-0,80	-	-	-	-	-	-	-	
1,0503	C 45	1C45	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	-	-	-	-	-	-	-	
1,0535	C 55	1C55	0,52-0,60	0,40	0,60-0,90	-	-	-	-	-	-	-	
1,0601	C 60	1C60	0,57-0,65	0,40	0,60-0,90	-	-	-	-	-	-	-	
1,1133	20mn5	-	0,17-0,23	30-	1,00-1,30	-	-	-	-	-	-	-	
1,1151	C k22	-	0,17-0,24	0,60	0,30-0,60	-	-	-	-	-	-	-	
1,1157	40mn4	-	0,36-0,44	0,40	0,80-1,10	-	-	0.30-	-	-	-	-	
1,1165	30mn5	-	0,27-0,34	-	1,20-1,50	-	0,020-	-	-	-	-	-	
1,1167	36mn5	-	0,32-0,40	-	1,20-1,50	-	0,035	<0.30-	-	-	-	-	
1,1170	28mn6	26Mn	0,25-0,32	0,40	1,30-1,65	-	-	-	-	-	-	-	
1,1180	Cm35	3C35	0,32-0,39	0,40	0,50-0,80	-	0,020-	-	-	-	-	-	
1,1181	Ck35	2C35	0,32-0,39	0,40	0,50-0,80	-	0,035	-	-	-	-	-	
1,1191	Ck45	2C45	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	-	-	-	-	-	-	-	
1,1201	Cm45	3C45	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	-	0,020-	-	-	-	-	-	
1,1203	Ck55	2C55	0,52-0,60	0,40	0,60-0,90	-	0,035	-	-	-	-	-	
1,1209	Cm55	3C55	0,52-0,60	0,40	0,60-0,90	-	-	-	-	-	-	-	
1,1221	Ck60	2C60	0,57-0,65	0,40	0,60-0,90	-	0,020-	-	-	-	-	-	
1,1223	Cm60	3C60	0,57-0,65	0,40	0,60-0,90	-	0,035	-	-	-	-	-	
1,1273	90mn4	-	0,85-0,95	-	0,90-1,10	-	-	1,50	-	-	-	-	
1,3401	X120mn12	-	1,10-1,30	-	12,00-13,00	-	-	0,40-	-	-	-	-	
1,3561	44cr2	-	0,42-0,48	0,40	0,50-0,80	-	-	0,60	-	-	-	-	
1,3563	43crmn4	-	0,40-0,46	0,40	0,60-0,90	-	-	0,90-	-	-	-	-	
								-1,20	0.15-	0.30			

مشخصه فولاد	Bundesrepublik آلمان Germany W.-Nr. DIN	Frankreich فرانسه France AFNOR	Großbritannien انگلستان Great Britain B.S.	Italien ایتالیا Italy UNI	Japan ژاپن Japan JIS	Schweden سوئد Sweden SS	Sowjetunion شوروی سابق U.S.S.R GOST	U.S.A امریکا U.S.A AISI/SAE/ ASTM	Gruppe گروه Groh
1.1213	1.1213 Ct53	XC 48H 1 TS	060A 52:070 M55	C 53	S 50 C	1674	50	1050	30
1.1221	1.1221 CK50	XC 60	080 A 62	C 60	S 58 C	1678	60:60G	1060	2
1.1231	1.1231 CK67	XC 68	-	C 70	-	1770	-	1070	3
1.1248	1.1248 CK75	XC 75	-	-	-	1774:1778	-	1080	3

فولادهای بهسازی

خواص مکانیکی، بهسازی شده

A Bruchdehnung ازدیاد طول شکست Elongation after fracture - 5				Z Einschnrung کاهش سطح مقطع Reduction of area				Kerbschlagarbeit کار ضربه Impact valve (DVM)			
-16 mm	17-40 mm	41- 100 mm	100- 160 mm	-16 mm	17-40 mm	41-100 mm	100- 160 mm	-16 mm	17-40 mm	41- 100 mm	100-160 mm
								J			
	-	-	40	45	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	35	40	45	-	-	-	-	-	-
	17	-	30	35	40	-	-	-	-	-	-
	15	-	25	30	35	-	-	-	-	-	-
	14	-	20	25	30	-	-	-	-	-	-
	18	-	50	55	60	-	69	69	76	-	-
	-	-	50	50	-	-	55	55	-	-	-
	15	-	40	45	50	-	34	41	41	-	-
	15	16	45	50	50	55	41	48	48	55	55
	12	15	35	40	45	50	41	41	48	55	55
	16	-	40	45	50	-	40	45	45	-	-
	20	-	40	45	50	-	40	40	40	-	-
	20	-	40	45	50	-	40	40	40	-	-
	17	-	35	40	45	-	30	30	30	-	-
	17	-	35	40	45	-	30	30	30	-	-
	15	-	30	35	40	-	-	-	-	-	-
	15	-	30	35	40	-	-	-	-	-	-
	14	-	25	30	35	-	-	-	-	-	-
	14	-	25	30	35	-	-	-	-	-	-
	~5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	-	40	40	45	-	124	124	137	-	-
	15	-	40	45	50	-	35	42	42	-	-
	12	13	40	45	50	55	35	42	42	42	42
	12	13	40	45	50	50	35	35	35	35	35

فولادهای بهسازی

Stroff-Nr.  شماره مواد  Standard- No.  شماره مواد	خواص مکانیکی، بهسازی شده												
	Re						Rm						
	Streckgrenze تنش تسلیم Yield stress						Zunfestigkeit استحکام کششی Tensite strength						
	-16 mm		17-40 mm		41-100 mm	100- 160 mm	-16 mm	17-40 mm	41-100 mm	100- 160 mm			
1.0402	350	300	-	-	550-700	500-650	-	-	20	22			
1.0501	430	370	320	-	630-780	600-750	550-700	-	17	19			
1.0503	500	430	370	-	700-850	650-800	630-700	-	14	16			
1.0535	550	500	430	-	800-950	750-900	630-780	-	12	14			
1.0601	580	520	450	-	850-1000	800-950	700-850	-	11	13			
1.1133	390	345	295	-	540-690	490-640	750-900	-	22	20			
1.1151	350	300	-	-	550-700	500-650	490-590	-	20	22			
1.1157	635	540	440	-	880-1080	780-930	-	-	12	14			
1.1165	540	440	440	440	780-930	690-830	690-830	780	14	15			
1.1170	685	590	540	440	930-1080	830-980	740-880	640-	9	10			
1.1180	590	490	440	-	780-930	690-840	640-790	780	13	15			
1.1181	430	370	320	-	630-780	600-750	550-700	-	17	19			
1.1191	430	370	320	-	630-780	600-750	550-700	-	17	19			
1.1201	500	430	370	-	700-850	650-800	630-780	-	14	16			
1.1203	500	430	370	-	700-850	650-800	700-850	-	14	16			
1.1209	550	500	430	-	800-950	750-900	700-850	-	12	14			
1.1221	550	500	430	-	800-950	750-900	750-900	-	12	14			
1.1223	580	520	450	-	850-1000	800-950	750-900	-	11	13			
1.1273	580	520	450	-	850-1000	800-950	~1670	-	11	13			
1.3401	1375	1325	1275	-	~1670	~1670	780-	-	~5	~5			
1.3561	410	390	345	-	880-1130	830-1080	1080	-	40	42			
1.3561	640	540	440	-	880-1080	780-930	690-830	-	12	14			
1.3563	880	760	640	560	1080-1270	980-1180	880-	780-	10	11			
1.3565	880	780	690	640	1080-1270	980-1180	1080	930	9	10			
							880-	830-					
							1080	980					

## استاندارد آلمان

فولاد بهسازی

عملیات حرارتی

Stoff-nr  
شماره مواد  
Standard No.

Anlassen برگشت Temper 0C	Warmbad کوئچ گرم Hot quenching 0C	Oil روغن Oil 0C	Wasser آب Water 0C	Spannungsfrei-gluehen بازپخت تنش زدایی Stress-free Annealing 0C	Normal-gluehen بازپخت نرمال Normalizing 0C	Briwll-Harte سختی بریل Hartness Brinell HB 30 Weichgegluht باز پخت نرم Sift annealed	Weichgluehen باز پخت نرم Soft annealing 0C	Warmformgebung شکل دادن گرم 0C	
-----------------------------------	--	--------------------------	-----------------------------	---	---	---	---	--------------------------------------	--

540-680	-	870-900	860-890		880-910	156	650-700	1100-900	1,0402
540-680	-	850-880	840-870	-	860-890	183	650-700	1100-850	1,0501
540-680	-	830-860	820-850	-	840-870	207	650-700	1100-850	1,0503
540-680	-	815-845	805-835	-	830-860	229	650-700	1050-850	1,0535
550-660	-	810-840	800-830	-	820-850	241	650-700	1050-850	1,0601
540-680	-	830-860	820-850	-	850-880	-	650-700	1100-850	1,1133
550-660	-	870-900	860-890	-	880-910	156	650-700	1100-900	1,1151
480-650	-	830-860	820-850	-	850-880	217	650-700	1100-850	1,1157
480-650	-	830-860	820-850	-	850-880	217	650-700	1100-850	1,1165
540-680	-	-	820-850	-	850-880	217	650-700	1100-850	1,1167
550-660	-	830-860	820-850		850-880	223	650-700	1100-850	1,1170
540-680	-	850-880	840-870	-	860-890	183	650-700	1100-850	1,1180
540-680	-	850-880	840-870	-	860-890	183	650-700	1100-850	1,1181
550-660	-	830-860	820-850	-	840-870	207	650-700	1100-850	1,1191
540-680	-	830-860	820-850	-	840-870	207	650-700	1100-850	1,1201
550-660	-	815-845	805-835	-	830-860	229	650-700	1050-850	1,1203
540-680	-	815-845	805-835	-	830-860	229	650-700	1050-850	1,1209
550-660	-	810-840	800-830	-	820-850	241	650-700	1050-850	1,1221
480-650	-	810-840	800-830	-	820-850	241	650-700	1050-850	1,1223
-	-	790-860	-	-	860-890	350	640-680	1100-850	1,1273
550-660	-	-	1000-1050	-	-	-	-	1100-850	1,3401
		830-860	820-850		840-870	255	650-700	1100-850	1,3561



## منابع

### الف) فارسی:

۱. کتاب درسی شناخت و خواص مواد شاخه فنی و حرفه‌ای رشته ساخت و تولید وزارت آموزش و پرورش. شرکت چاپ و نشر. مؤلف: محسن اکبری، صمد خادمی اقدم، بهروز نصیری زنوزی ۱۳۷۱.

### ب) انگلیسی:

1. Handbook of Materials Selection, MYER KUTZ, 2002, John Wiley & Sons
2. Engineering Materials 1 an Introduction to their Properties and Applications, Michael F. Ashby, 1980, 1996, Butterworth-Heinemann
3. Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist, ASM, John D. Verhoeven, 1997
4. Materials for Engineers and Technicians, Raymond A. Higgins, Fourth Edition, 2006, R. A. Higgins and W. Bolton
5. Fundamentals of materials science and Engineering, W.D.CALLISTER, John Wiley & Sons, 2001
6. The Materials SELECTOR, Second edition, VOL1, 2, 3 Norman A. Waterman, CHAPMAN & HALL, 1997
7. Werkstoffkunde, Hans-Jürgen Bargel · Günter Schulze, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
8. Die Metallurgie des Schweißens, Günter Schulze, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
9. ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys, 1993
10. Introduction to Aluminum Alloys and Tempers, J. Gilbert Kaufman, 2000
11. MEMS Introduction and Fundamentals, Mohamed Gad-el-Hak, 2006 by Taylor & Francis Group,
12. Introduction to nanotechnology, Henrik Bruus, Lyngby, spring 2004
13. Aluminum Alloy Castings, Properties, Processes, and Applications. Gilbert Kaufman, Elwin L. Rooy, 2004 ASM International.





