

علم مواد

تألیف و گردآوری:

مهندس عبدالله مختارپور

مرکز علمی-کاربردی خانه کارگر

فهرست

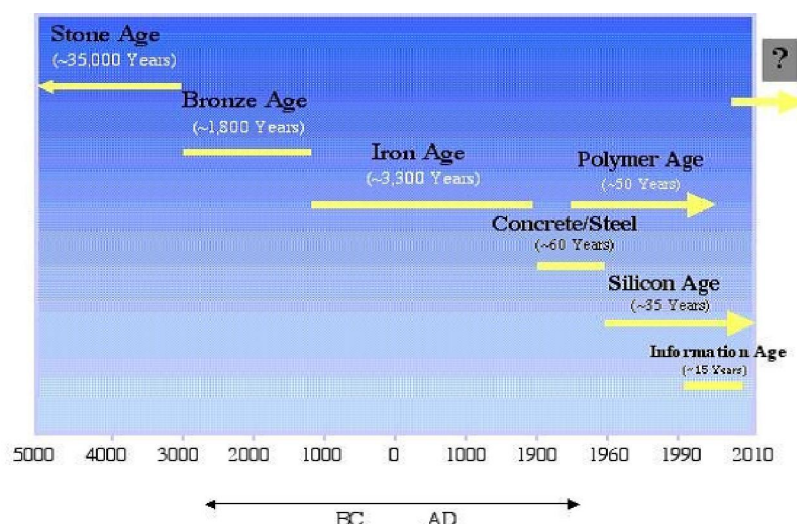
۱. مقدمه ۱
۲. پیوندهای شیمیایی و ساختار کریستالی مواد ۴
۳. ساختار کریستالی ۱۷
۴. فلزات و آلیاژها ۲۴
۵. سرامیک ۳۷
۶. پلیمر ۴۱
۷. کامپوزیت ۴۴
۸. بیومواد ۴۷
۹. نیمه هادی ها ۴۸
۱۰. خواص مکانیکی مواد ۴۹
۱۱. روش های شکل دادن مواد ۶۲

۱. مقدمه

مواد مایه اصلی رشد، تکامل، امنیت و کیفیت زندگی بشر از ابتدای هستی انسان است که هزارها و میلیون‌ها سال قبل از بشر نیز وجود داشته است. با آنکه فقط چندین دهه اخیر است که پایه های علمی دقیق و هوشمندی برای تعریف، توجیه و تشریح آن بنا شده است که امروزه می‌توان از پدیده‌هایی با عنوان علم و مهندسی مواد نام برد، ولی از همان آغاز ظهور انسان هوشمند، موضوع اصلی فکر و اندیشه او را تشکیل می‌داده است تا بر حسب اندیشه زمان خود بیندیشد.

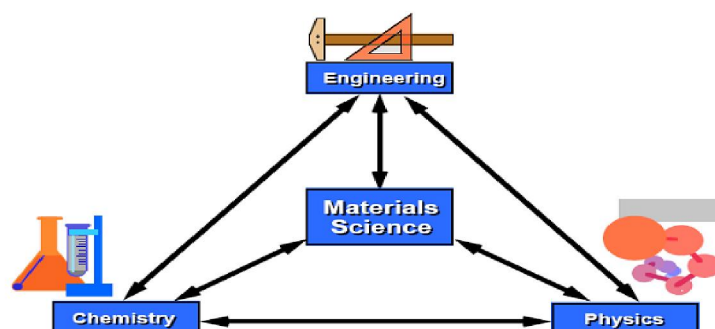
«مواد چه هستند، چگونه هستند، چه خواهند شد و با آن‌ها چه می‌توان کرد؟»

امروزه دوره‌های رشد و پیشرفت دانش بشری را بر اساس نحوه به‌کارگیری فلزات و مواد تقسیم‌بندی می‌کنند. شناخت خواص، توزیع و نحوه استخراج و کاربرد مواد گوناگون در صنایع به همراه تولید مواد مرکب و الکترو سرامیک‌ها و حفاظت و شکل‌دهی آن‌ها محدوده مهم، وسیع و پر کاربردی از دستاوردهای دانش بشری را شامل می‌گردد که هم اکنون به عنوان دانش مهندسی مواد شناخته می‌شود. صنعت متالورژی و علم مواد از دیر باز در جهان به عنوان یک صنعت مادر شناخته شده و با پیشرفت‌های روز افزون تکنولوژی نقش آن آشکار می‌گردد. در دنیای صنعتی امروز بی شک اگر مواد خاص و کاربر با کمک علم مواد به وجود نمی‌آمد هم اکنون ما شاهد خیلی از پیشرفت‌های بشر نبودیم.



شکل ۱.۱: دوران‌های مختلف زندگی بشر

در واقع علم و مهندسی مواد ارتباط بین ۳ عنصر مهندسی، علم شیمی و علم فیزیک را جستجو بررسی می‌کند و فرایندها، ساختارها، خواص و کارایی مواد محورهای اصلی علم مواد هستند.



شکل ۲.۱: رابطه علم مواد با سایر علوم

در علم و مهندسی مواد به این نکته توجه می‌شود که اغلب خواص مواد علاوه بر ترکیب شیمیایی به ساختار درونی آن‌ها نیز بستگی دارد. در واقع با اطلاع از ترکیب شیمیایی یک آلیاژ نمی‌توان در مورد خواص آن اظهار نظر قطعی کرد زیرا باید مشخصات ساختاری آن نیز مشخص باشد. به طور خلاصه، ساختار یک ماده به نحوی چینش اجزای درونی آن مرتبط است. بسته به ابعاد جزء سازنده‌ی درونی ماده، می‌توان سطوح مختلف ساختاری برای هر ماده تعریف کرد.

جدول ۱.۱: مشخصه‌های ساختاری مواد و مقیاس اندازه آن‌ها.

مقیاس	مشخصه ساختاری
10^{-15}	ساختار هسته‌ای
10^{-10}	ساختار اتمی
10^{-9}	ساختار کریستالی
10^{-9}	ساختار محلول جامدها و ترکیبات
10^{-8}	ساختار دانه و مرز دانه‌ها
$10^{-7} - 10^{-3}$	دانه‌ها و فازها
$10^{-5} - 10^{-2}$	تجمع دانه‌ها و فازها
$10^{-3} - 10^3$	سازه‌های مهندسی

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کوچک‌ترین واحد ساختاری قابل کنترل برای تغییر در خواص، ساختار کریستالی است. ساختار هسته‌ای و ساختار اتمی، اگر چه خواص ذاتی و بنیادی مواد را توضیح می‌دهند، اما قابل کنترل برای بشر نیستند.

۱.۱. دسته بندی مواد مهندسی:

مواد نام عام و وسیعی است که به هر چه از اتم‌ها یا مولکول‌ها تشکیل می‌شود، اطلاق می‌گردد و در این بیان موجودات جاندار و بی جان، گاز، مایع یا جامد، زیستی و غیر زیستی را در بر می‌گیرد که در مهندسی مواد فقط بخش کوچکی از آن‌ها استفاده می‌شود. هزاران مواد برای استفاده در کاربردهای مهندسی در دسترس وجود دارد. که این مواد را می‌توان به صورت زیر در ۶ گروه اصلی دسته بندی نمود.

- فلزات (Metals)
- سرامیک‌ها (Ceramics)
- پلیمرها (Polymers)
- کامپوزیت‌ها (Composites)
- نیمه هادی‌ها (Semiconductors)
- مواد زیستی (Biomaterials)

. طبقه بندی‌های مواد هرچند ویژگی‌های کاربردی مناسبی دارد، ولی از تعریف و بنیان علمی مناسبی برخوردار نیست. این دسته بندی عموماً بر اساس آرایش شیمیایی، پیوندهای اتمی، ترتیب قرارگیری اتم‌ها، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی انجام شده است. بر اساس این دسته بندی بسیاری از مواد در گروه های مشخص و جداگانه قرار می‌گیرند و البته برخی اشتراکات نیز وجود دارد. پس برای درک بهتر این مواد لازم است که با انواع پیوندهای شیمیایی و نیز ساختار های که بر اساس آن‌ها اتم‌ها در کنار هم قرار می‌گیرند بیشتر آشنا شویم.

۲. پیوندهای شیمیایی و ساختار کریستالی مواد

تمام مواد از قرار گرفتن اتم‌ها در کنار هم تشکیل شده‌اند. برای فهم برخی خواص مواد نیاز به مطالعه نحوه‌ی پیوند بین اتم داریم. برای این منظور باید ساختار اتم را بیشتر بشناسیم.

۲.۱. ساختار اتمی:

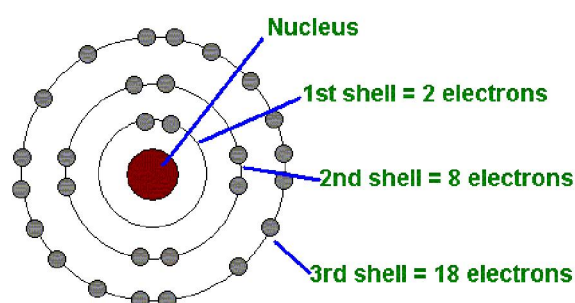
ساختار اتم متشکل از پروتون و نوترون در هسته و الکترون‌ها در حال حرکت به دور هسته است. اتم‌ها در حالت عادی از نظر باز الکتریکی خنثی هستند. در رابطه با ساختار اتم در طی سالیان متمادی نظریه‌های متفاوتی ارائه شد که دو مدل که به نظر می‌رسد تطابق بیشتری با ساختار واقعی اتم داشته باشند شرح داده می‌شود:

۲.۱.۱. مدل بوهر

نظریه بوهر، نکات زیر را در بر می‌گیرد:

- الکترون‌ها مانند سیارات که به دور خورشید می‌گردند، در مدارهای معینی به نام تراز به دور هسته می‌گردند. او عبارت ریاضی کلاسیک برای نیرویی که الکترون را در یک خط مستقیم نگاه می‌دارد و نیرویی که الکترون را به درون می‌کشانند معادلاتی به وجود آورد. هر تراز با یک حروف الفبایی (O, N, M, L, K, ...) یک عدد (1, 2, 3, 4, 5, ...) مشخص می‌شود.
- الکترون‌ها در مدار نسبتاً پایدار می‌مانند و در یک اتم معین، انرژی‌های معینی می‌توانند داشته باشند. بنا به نظریه بوهر، یک الکترون می‌تواند برای مدتی طولانی در یک مدار حرکت کند یا در مداری دیگر به فاصله دورتر برای مدتی طولانی سیر کند ولی نمی‌تواند در زمانی قابل اندازه‌گیری میان دو مدار بماند. بنا بر تئوری بوهر، وقتی یک الکترون از مداری به مدار دیگر برود، انرژی آن به مقدار معینی تغییر می‌کند که آن را یک کوانتوم انرژی می‌گویند.
- برای جدا کردن اجسامی که جذب یکدیگر شده‌اند انرژی لازم است. برای جابه‌جا شدن الکترون از یک تراز انرژی به تراز دیگر مقدار انرژی کاملاً معین و خاصی لازم است. انرژی لازم برای آنکه یک الکترون از هسته دور شود در سیستم به صورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌شود. وقتی الکترون‌های یک اتم تا حد امکان به هسته نزدیک باشد اتم در حداقل انرژی که حالت پایه است، قرار گرفته است. اگر اتم‌ها در قوس الکتریکی یا شعله چراغ گاز گرم شوند، انرژی جذب کرده و الکترون به تراز بیرونی‌تری که انرژی بیشتری دارد می‌جهد، اتم در این شرایط در حالت برانگیخته است.

- هرگاه الکترون از مدار بالاتر (برانگیخته) به مدار یا تراز یا بیشتر فرو افتد مقدار انرژی معینی از اتم تابش می‌کند که معمولاً این اختلاف انرژی اتم بین دو حالت برانگیخته و پایه به صورت انرژی نوری کوانتوم نور است .



شکل ۱.۲: مدل اتمی بوهر

بوهر با این تصور که الکترون‌ها در ترازهای انرژی مربوط به مدارها بالا یا پایین می‌روند و حرکت الکترون میان دو مدار خاص مستلزم کوانتوم معینی انرژی است، توانست علت وجود خط‌های طیف نشری خط روشن هیدروژن را توضیح دهد و نیز طول موج‌های مورد انتظار برای این خط‌ها را حساب کرد. بور با استفاده از خطوط مشاهده پذیر طیف هیدروژن اوضاع درون اتم را بررسی کند .

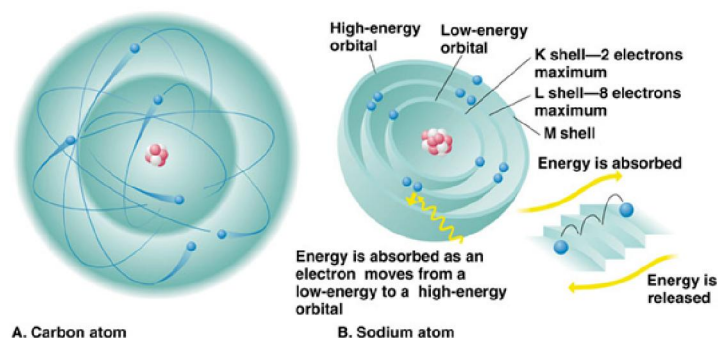
مدارها با اعداد صحیح شماره گذاری می‌شوند. عدد ۱ نزدیک‌ترین مدار به هسته است و حداکثر عده الکترون‌ها در یک مدار $2n^2$ است که n شماره مدار است .

یک قاعده کلی برای پیشگویی عده الکترون‌ها این است که مدار خارجی نمی‌تواند بیش از هشت الکترون داشته باشد. نخستین مدار حداکثر می‌تواند دو الکترون داشته باشد که هیدروژن با عدد واقعی یک که الکترون دارد و هلیوم در این مدار قرار می‌گیرند.

۲.۱.۲. مدل کوانتمی:

مدل اتمی بور نشان داد که طیف نشر خطی که از اتم عناصر گسیل می‌شود، بر اثر انتقال الکترون‌ها از سطوح انرژی بالا به سطوح انرژی پایین است، که در این انتقال انرژی الکترون کاهش می‌یابد و به صورت نور و گرما آزاد می‌شود. اگر نور آزاد شده را از منشور عبور دهیم طیف نشری آن مشخص می‌شود. بور مدل اتمی خود را بر اساس آزمایش‌هایی که با اتم‌های هیدروژن و هلیوم انجام شده بود مطرح می‌ساخت به همین دلیل مدل اتمی او (که به مدل منظومه شمسی معروف است) برای اتم‌های سنگینی مانند اورانیوم، آهن و ... صدق نمی‌کرد. به همین دلیل مدل اتمی کوانتمی (یا ابر الکترونی) با همکاری بسیاری از دانشمندان مانند

هایزنبرگ، پلانک و شرودینگر مطرح شد. البته اینشتین با ارائه فرمول‌های خود نیز توانست به این مدل اتمی کمک کند.



شکل ۲.۲: مدل کوانتومی اتم.

۲.۲. جدول تناوبی عناصر

جدول تناوبی عنصرهای شیمیایی، به عنوان نمایشی از عنصرهای شیمیایی شناخته شده‌اند که بر اساس ساختار الکترونی مرتب گردیده است به گونه‌ای که بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی عنصرها به صورت منظم در طول جدول تغییر می‌کنند.

جدول اولیه بدون اطلاع از ساختار داخلی اتم‌ها ساخته شد: اگر عناصر را بر حسب جرم اتمی آن‌ها مرتب نماییم، و آنگاه نمودار خواص معین دیگر آن‌ها را بر حسب جرم اتمی رسم نماییم، می‌توان نوسان یا تناوب این خواص را به صورت تابعی از جرم اتمی مشاهده نمود. نخستین کسی که توانست این نظم را مشاهده نماید، یک شیمیدان آلمانی به نام یوهان ولفگانگ دوبراینر بود. او متوجه تعدادی تثلیث از عناصر مشابه شد:

جدول ۱.۲: نمونه ای از تثلیث‌ها.

چگالی	جرم اتمی	عنصر
1.56 g/L	35.5	Cl
3.12 g/L	79.9	Br
4.95 g/L	126.9	I

به دنبال او، شیمیدان انگلیسی جان نیولندز متوجه گردید که عناصر از نوع مشابه در فاصله‌های هشت تایی یافت می‌شوند، که آن‌ها را با نت‌های هشتگانه موسیقی شبیه نمود، هرچند که قانون نت‌های او مورد تمسخر معاصرین او قرار گرفت. سرانجام شیمیدان آلمانی لوتار می‌ر و شیمیدان روسی دمیتری مندلیف تقریباً به طور هم‌زمان اولین جدول تناوبی را، با مرتب نمودن عناصر بر حسب جرمشان، توسعه دادند (ولی مندلیف تعداد

کمی از عناصر را خارج از ترتیب صریح جرمی، برای تطابق بهتر با خواص همسایگانشان رسم نمود - این کار بعدها با کشف ساختار الکترونی عناصر در اواخر سده نوزدهم و آغاز سده بیستم توجیه گردید).

فهرست عناصر بر پایه نام، علامت اختصاری و عدد اتمی موجود است. شکل زیر جدول تناوبی عناصر شناخته شده را نمایش می‌دهد. هر عنصر با عدد اتمی و علامت‌های شیمیایی. عناصر در یک ستون (گروه) از لحاظ شیمیایی مشابه می‌باشند.

Periodic Table of Elements

1A																	0											
1	2																	10										
1	H	IIA																	2	He								
2	3	4																	6	Ne								
	Li	Be																	8	Ar								
3	11	12	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VII				IB	IB	13	14	15	16	17	18									
	Na	Mg																	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36										
	K	Ca	Sc	Ti	Y	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr										
5	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										
6	55	56	57	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										
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110																		
	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110																		

* Lanthanide Series

+ Actinide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Legend - click to find out more...

H - gas

Li - solid

Br - liquid

Tc - synthetic



Non-Metals



Transition Metals



Rare Earth Metals



Halogens



Alkali Metals



Alkali Earth Metals



Other Metals



Inert Elements

شکل ۳.۲: جدول تناوبی عناصر.

یک گروه جدول تناوبی ستون عمودی در جدول تناوبی است که شامل چندین عنصر می‌شود. در جدول تناوبی استاندارد هجده گروه وجود دارد. در گذشته گروه‌های جدول را بر اساس تشابه خواص عناصر آن گروه به یکدیگر ساختند، در حالی که در شیمی جدید نظم گروه‌ها را بر اساس آرایش آخرین لایه الکترون اتم عناصر آن گروه می‌دانند. عناصر هر گروه خواص متشابه دارند و با میانگین گرفتن از نقطه جوش دو عنصر خواص عنصر میانی پیدا می‌شود.

از آنجا که الکترون‌های خارجی‌ترین لایه، خواص شیمیایی را تعیین می‌نمایند، این لایه‌ها در میان گروه‌های یکسان مشابهند. عناصر هم‌جوار با یکدیگر در یک گروه، علیرغم اختلاف مهم در جرم، دارای خواص فیزیکی مشابه هستند. عناصر هم‌جوار با یکدیگر در یک ردیف دارای جرم‌های مشابه ولی خواص متفاوت هستند. برای مثال، عناصر بسیار نزدیک به نیتروژن (N) در ردیف دوم کربن (C) و اکسیژن (O) هستند. علیرغم تشابه آن‌ها در جرم (که به صورت ناچیزی در واحد جرم اتمی تفاوت دارند)، دارای خواص بینهایت متفاوتی هستند، همان طور که با بررسی فرم‌های دیگر می‌توان ملاحظه نمود: اکسیژن دو اتمی یک گاز است که سوختن را تشدید می‌نماید، نیتروژن دو اتمی یک گاز است که سوختن را تشدید نمی‌کند، و کربن یک جامد است که می‌تواند سوزانده شود. در مقایسه، عناصر بسیار نزدیک به کلر (Cl) در گروه یکی مانده به آخر در جدول (هالوژن‌ها) فلوئور (F) و برم (Br) هستند. علیرغم تفاوت فاحش جرم آن‌ها در گروه، فرم‌های دیگر آن‌ها دارای خواص بسیار مشابه هستند: آن‌ها بسیار خورنده هستند (بدین معنی که تمایل خوبی برای ترکیب با فلزات، برای تشکیل نمک هالید فلز دارند)؛ کلر و فلوئور گاز هستند، درحالی‌که برم یک مایع با تبخیر بسیار کم است؛ کلر و برم بسیار رنگی هستند.

۲.۳. پیوندهای شیمیایی

اتم‌ها به جای آنکه به صورت منفرد بمانند، تمایل دارند به یکدیگر بپیوندند، به هم پیوستن اتم‌ها با تشکیل پیوندهای شیمیایی صورت می‌گیرد. پیوندهای شیمیایی نیروهای جاذبه‌ای هستند که در تمام مواد، اتم‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند. تشکیل پیوند بین اتم‌ها با تغییر آرایش الکترونی آن‌ها همراه است. در حقیقت، این الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت اتم‌ها هستند که سبب تشکیل پیوندهای شیمیایی می‌شوند.

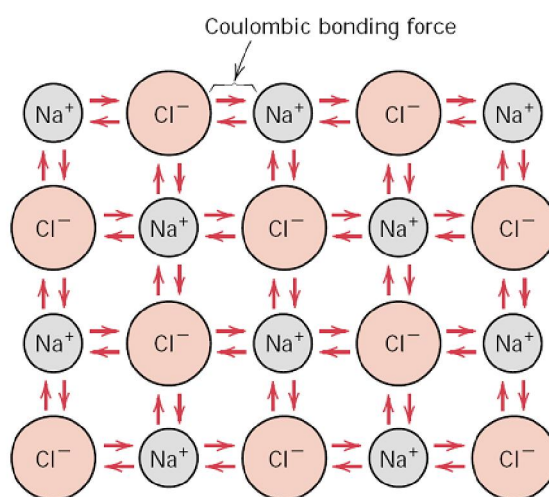
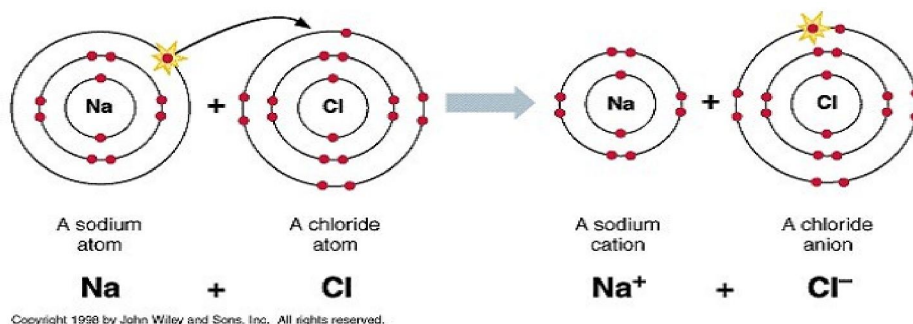
پیوندهای شیمیایی را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- پیوندهای اولیه : پیوندهای یونی، پیوندهای کووالانسی، پیوندهای فلزی.
- پیوندهای ثانویه : پیوندهای واندروالس، پیوند هیدروژنی.

۲.۳.۱. پیوند یونی:

پیوند یونی نوعی از پیوند شیمیایی است که بر پایه نیروی الکترواستاتیک بین دو یون با بار مخالف شکل می‌گیرد به عبارتی دیگر پیوند یونی نیروی جاذبه قوی است که بین یون‌های با بار مخالف وجود دارد. این پیوند نتیجه‌ی انتقال الکترون از اتم فلز به اتم نافلز است. پیوند یونی را پیوند الکترووالانسی نیز می‌نامند. ترکیبات یونی متشکل از تعداد زیادی آنیون و کاتیون هستند که با طرح معین هندسی در کنار هم قرار گرفته‌اند و یک بلور به وجود می‌آورند. هر بلور، به سبب جاذبه‌های منفی-مثبت یون‌ها به هم، نگه داشته

شده است. فرمول شیمیایی یک ترکیب یونی نشانه ساده‌ترین نسبت یون‌های مختلف برای به وجود آوردن بلوری است که از نظر الکتریکی خنثی باشد.



شکل ۴.۲: پیوند یونی نمک طعام.

وقتی اتم‌ها به یون تبدیل می‌شوند، خواص آن‌ها شدیداً تغییر می‌کند. مثلاً مجموعه‌ای از مولکول‌های برم قرمز است. اما یون‌های برم در رنگ بلور ماده مرکب هیچ دخالتی ندارند. یک قطعه سدیم شامل اتم‌های سدیم نرم است، خواص فلزی دارد و بر آب به شدت اثر می‌کند. اما یون‌های سدیم در آب پایدارند. مجموعه بزرگی از مولکول‌های کلر، گازی سمی به رنگ زرد مایل به سبز است، ولی یون‌های کلرید مواد مرکب رنگ ایجاد نمی‌کنند و سمی نیستند. به همین لحاظ است که یون‌های سدیم و کلر را به صورت نمک طعام می‌توان بدون ترس از واکنش شدید روی گوجه فرنگی ریخت. وقتی اتم‌ها به صورت یون در می‌آیند، ماهیت آن‌ها آشکارا تغییر می‌کند.

رسانایی الکتریکی: رسانایی الکتریکی مواد مرکب یونی مذاب به این علت است که وقتی قطب‌هایی با بار مخالف در این مواد مذاب قرار گیرد و میدان الکتریکی برقرار شود، یون‌ها آزادانه به حرکت در می‌آیند. این

حرکت یون‌ها بار یا جریان را از یک‌جا به جای دیگر منتقل می‌کنند. در جسم جامد که یون‌ها بی‌حرکتند و نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند، جسم خاصیت رسانای الکتریکی ندارد.

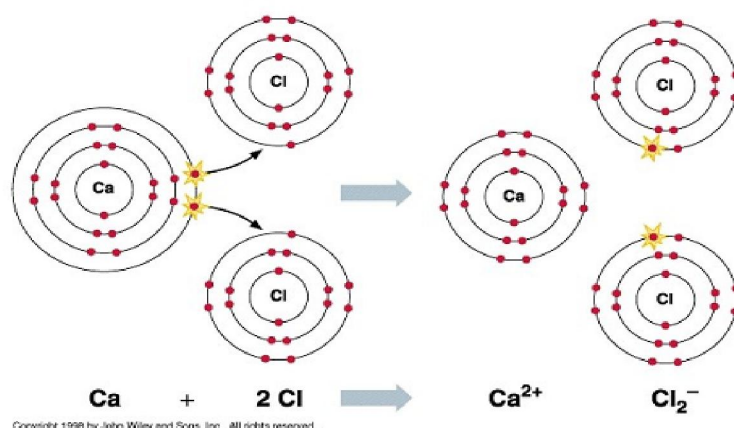
سختی : سختی مواد مرکب یونی به علت پیوند محکم میان یون‌های با بار مخالف است. برای پیوندهای قوی انرژی بسیاری لازم است تا یون‌ها از هم جدا شوند و امکان حرکت آزاد حالت مذاب را پیدا کنند. انرژی زیاد به معنی نقطه جوش بالا است که خود از ویژگی‌های مواد مرکب یونی است.

شکندگی : مواد مرکب یونی شکننده‌اند. زیرا که ساختار جامد آن‌ها آرایه منظمی از یون‌هاست. مثلاً ساختار سدیم کلرید (NaCl) را در نظر بگیرید. هرگاه یک سطح از یون‌ها فقط به فاصله یک یون در هر جهت جابجا شود، یون‌هایی که بار مشابه دارند در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و یکدیگر را دفع می‌کنند و چون جاذبه‌ای در کار نیست بلور می‌شکند. سدیم کلرید را نمی‌توان با چکش کاری، به ورقه‌های نازک تبدیل کرد. با چنین عملی بلور نمک خرد و از هم پاشیده می‌شود.

عناصر گروه IA (فلزات قلیایی) یعنی Li، Na، K، Rb، Cs، هر یک به ترتیب یک الکترون بیشتر از گازهای نجیب، (He، Kr، Ne، Ar، Xe) دارند. اگر هر یک از این فلزات از هر اتم یک الکترون از دست بدهند، جزء باقیمانده آرایش الکترونی گاز نجیب متناظر خود را پیدا می‌کند. مثلاً، Li یک الکترون والانس در آرایش حالت پایه دارد. از دست دادن یک الکترون موجب می‌شود که Li ساختار الکترونی He را پیدا کند. یک اتم Li که فقط دو الکترون و سه پروتون داشته باشد، بار $+1$ خواهد داشت.

عناصر گروه IIA (فلزات قلیایی خاکی) هر یک دو الکترون والانس دارند. پس برای اینکه Mg، Ca، Sr، Ba ساختار گاز نجیب را به دست آورند اتم‌های هر عنصر باید دو الکترون از دست بدهند. از دست رفتن دو الکترون موجب می‌شود که دو پروتون در هسته خنثی نشده بماند. پس هر یون بار $+2$ خواهد داشت. برای جدا شدن سومین الکترون لازم است جفت الکترون‌های تراز اصلی با انرژی پایین‌تر شکسته شود. این امر انرژی زیادیتری می‌خواهد. جدا شدن الکترون‌ها از فلزات و تشکیل یون‌های مثبت حاصل از آن‌ها را می‌توان به راه‌های مختلف ترسیم کرد.

پس جدا شدن یک الکترون از یک اتم معین جدا شدن الکترون‌های بعدی به ترتیب مشکل‌تر می‌شود. زیرا با از دست رفتن هر الکترون بار مؤثر زیادیتری می‌شود و الکترون‌های باقیمانده را محکم‌تر نگاه می‌دارد. به طور خلاصه یون‌های مثبت وقتی تشکیل می‌شوند که اتم‌های فلزی یک الکترون (گروه IA) دو الکترون (گروه IIA) و یا سه الکترون (گروه IIIA) به اتم‌های غیر فلزی می‌دهند. یون‌های حاصل آرایش الکترونی یکسان با یک گاز نجیب دارند.



شکل ۵.۲: پیوند یونی کلرید کلسیم

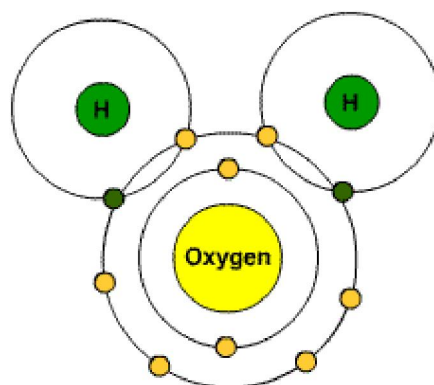
عناصر گروه VIIA (هالوژن‌ها) یون‌های مثبت در حضور یون‌های منفی پایدار می‌شوند. خنثی شدن بار، هر دو نوع یون را پایدار می‌کند. یون‌های منفی پایدار، از اتم‌هایی که شش یا هفت الکترون والانس دارند، تولید می‌شوند. این گونه اتم‌ها آنقدر الکترون بدست می‌آورند تا ساختار گاز نجیب را پیدا کنند. مثلاً اتم‌های عناصر گروه VIIA (هالوژن‌ها) هفت الکترون والانس دارند و هر یک، یک الکترون می‌خواهند تا آرایش الکترونی یک گاز نجیب را پیدا کنند. اگر اتم‌های F، Cl، Br، I هر یک، یک الکترون بدست آورند، یون‌های حاصل آرایش الکترونی پایدار را خواهند داشت.

عناصر گروه VIA (گروه اکسیژن) اتم عناصر (VIA) برای رسیدن به ساختار الکترونی یک گاز نجیب هر یک دو الکترون نیاز دارند. اضافه شدن دو الکترون به هر اتم، سبب تولید می‌شود. روند به دست آوردن الکترون توسط غیر فلزات، مانند از دست دادن الکترون توسط فلزات را می‌توان به راه‌های متفاوت ترسیم کرد. به طور خلاصه غیر فلزات یک، دو، یا سه الکترون از فلزات می‌گیرند و یون منفی ایجاد می‌کنند. این یون‌های منفی همگی الکترون‌های والانس جفت شده و آرایش هشت الکترونی پایدار گازهای نجیب را دارند.

فرمول شیمیایی مواد مرکب یونی فرمول شیمیایی یک ماده مرکب از لحاظ الکتریکی خنثی است. خنثی بودن الکتریکی مستلزم آن است که شمار بارهای مثبت و منفی در بلور ماده مرکب برابر باشند. در بلور نمک طعام یون‌های با جاذبه الکتریکی میان بارهای مخالف، در جای خود نگاه داشته شده‌اند. علاوه بر این، برای خنثی بودن این ماده مرکب باید نسبت یون‌های سدیم به یون‌های کلرید ۱ به ۱ باشد. در این صورت ساده‌ترین فرمول آن خواهد بود. در ساختار بلورین هر یون سدیم با هر شش یون کلرید اطراف آن جذب می‌شود. به همین طریق هر یون کلرید با هر شش یون سدیم اطراف آن جذب می‌شود.

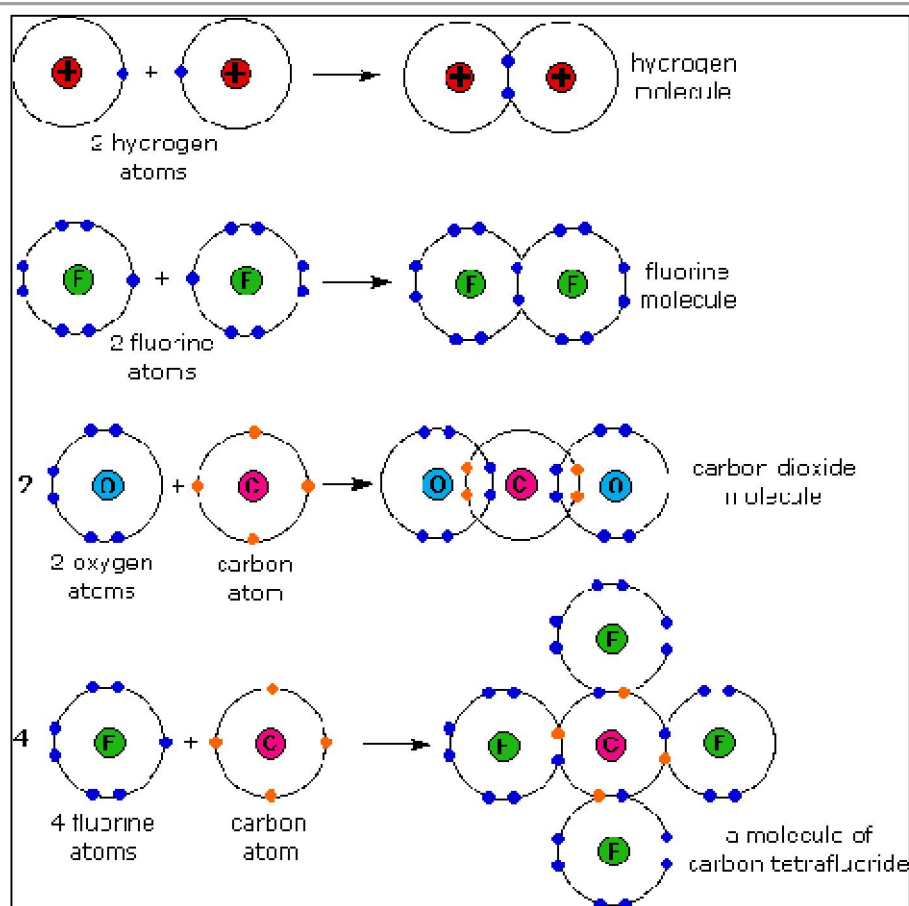
۲.۳.۲. پیوند کووالانسی:

پیوند کووالانسی به پیوندی گفته می‌شود که بین دو نافلز به وجود می‌آید به طوری که بین دو اتم یک یا چند جفت الکترون به اشتراک گذاشته می‌شود به طوری که اتم‌ها به آرایش هشت الکترونی می‌رسند. از آنجایی که در پیوند کووالانسی، دو اتم، الکترون به اشتراک می‌گذارند و مولکول را به وجود می‌آورند، به پیوند کووالانسی پیوند مولکولی نیز گفته می‌شود.



شکل ۶.۲: پیوند کووالانسی در مولکول آب (H_2O)

بر خلاف تشکیل پیوند یونی، اتم‌ها برای رسیدن به آرایش گاز نجیب (آرایش هشت‌تایی) به جای از دست دادن یا پذیرفتن الکترون، آن را میان خود به اشتراک می‌گذارند. در این حالت میان دو اتم پیوندی به وجود می‌آید که پیوند کووالانسی گفته می‌شود. به طور مثال پیوند کووالانسی ساده بین دو اتم هیدروژن را در نظر می‌گیریم. با نزدیک شدن اتم‌های هیدروژن به یکدیگر، میان دو الکترون از دو اتم یک نیروی جاذبه مغناطیسی قوی ایجاد می‌شود، برای اینکه این دو الکترون تمایل شدیدی برای تشکیل یک زوج الکترون - الکترون و پر کردن لایه ظرفیت دارند. همین وضعیت برای پروتون‌های هسته برقرار است، یعنی آن‌ها نیز تمایل به تشکیل یک زوج پروتون - پروتون را دارند، برای اینکه آن‌ها بار الکتریکی داشته و با دوران خود، میدان مغناطیسی تولید می‌کنند که باعث تشکیل زوج پروتون - پروتون می‌شود. در هنگام تشکیل پیوند کووالانسی چنین به نظر می‌رسد که اثر جاذبه مغناطیسی الکترون‌ها و پروتون‌ها نسبت به هم نوع خود بیش‌تر از مجموع نیروهای دافعه‌ای الکتریکی میان دو هسته و میان دو الکترون است و این دو نیرو در حد فاصلی از هم به تعادل می‌رسند که به آن طول پیوند در مولکول هیدروژن گفته می‌شود. آنچه که مسلم است این فاصله ثابت نبوده و در حال تغییرات جزئی است که باعث نوسان و لرزش مولکول هیدروژن می‌شود. این پیوند کووالانسی انرژی‌زا بوده و معادل ۴۳۶ کیلو ژول بر مول انرژی آزاد می‌کند که ناشی از کاهش پتانسیل الکترومغناطیسی موجود در اتم هیدروژن است و ما برای گسستن این پیوند در مولکول هیدروژن، مجبوریم این انرژی را مجدداً مصرف کنیم.

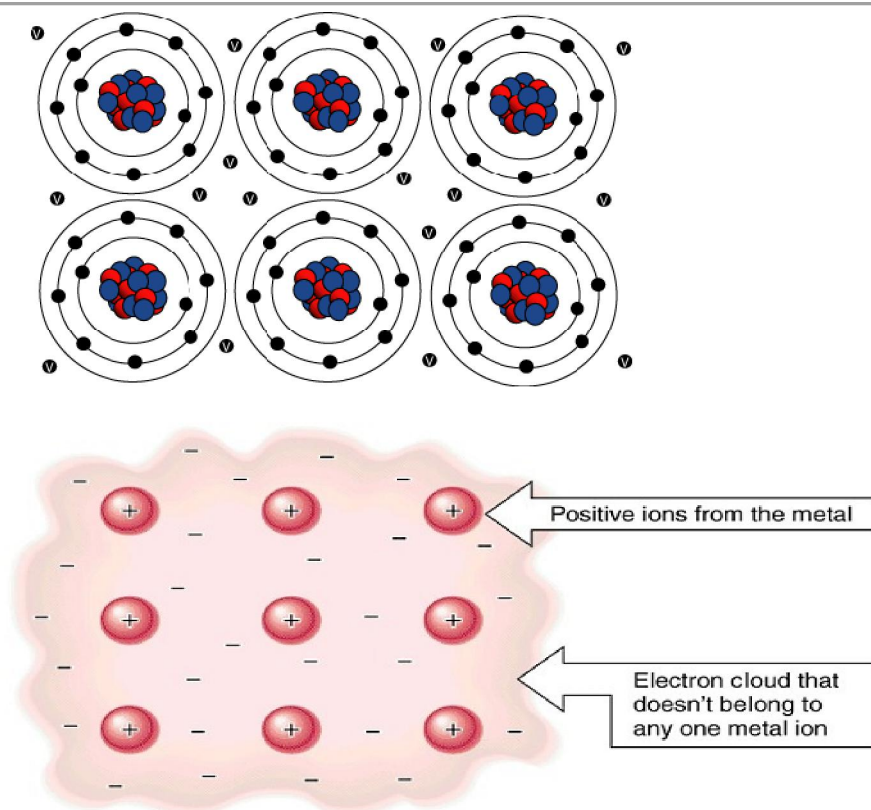


شکل ۷.۲: چند نمونه پیوند کووالانسی

۲.۳.۳. پیوندهای فلزی

نیروی جاذبه‌ای که از تأثیر متقابل الکترون‌های غیر مستقر (یعنی همان الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت) و ذره‌های مثبت شبکه‌ی بلور فلز به وجود می‌آید عامل پیدایش پیوند فلزی می‌باشد. فلزات در حالت جامد بلورهایی تشکیل می‌دهند که در آن‌ها هر اتم با هشت یا دوازده اتم فلز احاطه شده است.

نظر به این که فلزات در تراز بیرونی خود فقط ۱، ۲ یا ۳ الکترون دارند، اتم‌های آن‌ها با اتم‌های مجاور خود پیوندهای کووالانسی عادی تشکیل نمی‌دهند و چون اتم‌های یک عنصر نیروی جاذبه یکسانی نسبت به الکترون‌های خود دارند، اتم‌های فلز تمایلی به تشکیل یون در بلور فلز ندارند. در اینجا، بلور فلز وقتی تشکیل می‌شود که اتم‌ها در کنار یکدیگر جمع می‌شوند و اوربیتال‌های تراز بیرونی تمام اتم‌ها با یکدیگر همپوشانی می‌کنند. در این حالت الکترون‌ها می‌توانند به راحتی از یک اتم به اتم دیگر حرکت کنند. در اینجا گفته می‌شود که الکترون‌ها غیر مستقرند. زیرا این الکترون‌ها در یک «مکان» به عنوان بخشی از یک یون یا پیوند کووالانسی معین قرار نگرفته‌اند.



شکل ۸.۲: پیوند فلزی.

اگر یک میدان الکتریکی خارجی اعمال کنیم، الکترون‌ها در درون فلز به جریان می‌افتند و جریان الکتریکی به وجود می‌آید. الکترون‌ها غیر مستقر به آسانی با نور بر هم کنش داشته، جلای فلزی را به وجود می‌آورند. وقتی فلزات را با چکش می‌کوبیم، اتم‌ها تغییر آرایش می‌دهند و الکترون‌ها نیز در اوربیتال‌های اتم‌ها در مکان‌های جدید جابجا می‌شوند. الکترون‌های غیر مستقر که اتم‌های فلزی را به یکدیگر متصل نگه می‌دارند پیوند فلزی را به وجود می‌آورند.

خواص فلزات با تعداد الکترون‌های بیرونی آن‌ها معین می‌شود. فلزات گروه 1 (IA) در هر اتم فقط یک الکترون بیرونی دارند. این فلزات نرم هستند. فلزات گروه 2 (IIA) دو الکترون بیرونی دارند و در مقایسه با فلزات گروه 1 (IA) سخت‌ترند. اما، در فلزات واسطه، الکترون‌های اوربیتال‌های d ممکن است در تشکیل پیوند فلزی شرکت کنند. بسیاری از این فلزات بسیار سخت هستند.

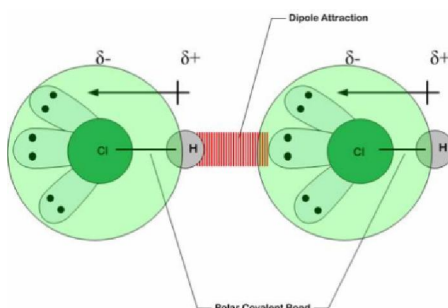
عناصر گروه 3 (IIIB) تا 6 (VIB) سه تا شش الکترون غیر مستقر دارند. در عناصر گروه‌های 7 (VIIB) تا 10 (VIIIB)، تعداد الکترون‌های غیر مستقر همان شش الکترون است زیرا الکترون‌های تراز فرعی d این عناصر در پیوند فلزی شرکت ندارند. تعداد الکترون‌های غیر مستقر به ازای هر اتم با فلزات گروه‌های 11 (IB) و 12 (IIB) رو به نقصان می‌گذارد. گروه‌های 13 (IIIA) تا 18 (VIIIA)، نافلزند و از خواص فلزی آن‌ها به سرعت کاسته می‌شود.

پیوند فلزی قوی در فلزات ساختمانی مانند آهن، کروم و نیکل، این فلزات را سخت و محکم ساخته است. به طور کلی، عناصر واسطه، سخت‌ترین و محکم‌ترین عناصر هستند. بعضی از فلزات که الکترون‌های غیر مستقر کمتری دارند را می‌توان با سایر فلزات ترکیب کرد و آلیاژ تشکیل داد و به این ترتیب باعث استحکام فلز شد. خواص این آلیاژها از خواص عناصر خالص سازنده آلیاژ متفاوت است.

۲.۳.۴. پیوند واندروالس:

اتم‌ها در مولکول‌ها توسط پیوندهای کووالانسی کنار هم نگه داشته شده‌اند. اما پرسش این است که مولکول‌ها در حال مایع و جامد توسط چه نیرویی به سوی یکدیگر جذب می‌شوند، نیروهایی که مولکول‌های یک ماده را در حالت مایع یا جامد به همدیگر ارتباط می‌دهد به نیروهای بین مولکولی معروف است.

نیروهای بین مولکولی بین مولکول‌های قطبی با نیروهای بین مولکولی بین مولکول‌های غیر قطبی باهم تفاوت دارند. معمولاً نیروهای بین مولکولی به نام نیروهای واندروالسی معروفند. وجود این نیروها در بین مولکول‌ها باعث می‌شود که یک ترکیب جامد مولکولی شکل معینی داشته باشد و با غلبه بر این نیروها بتوان آن را به حالت مایع درآورد.



شکل ۹.۲: نیروی واندروالس از نوع دو قطبی.

انواع نیروهای واندروالسی عبارتند از:

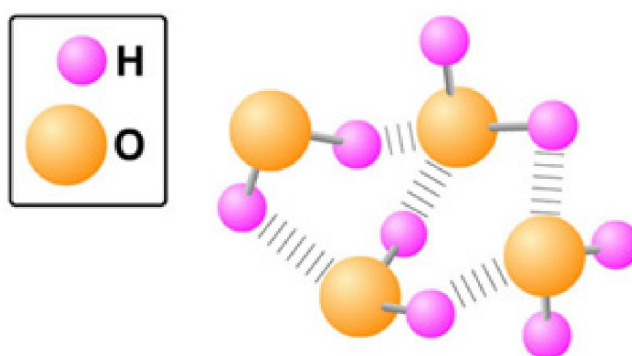
۱. نیروهای دوقطبی – دوقطبی: این نیروها در بین مولکول‌های قطبی دیده می‌شوند. این مولکول‌ها دارای دوقطبی‌های دائمی هستند و تمایل به قرار گرفتن در راستای میدان الکتریکی دارند. پایدارترین حالت زمانی است که قطب مثبت یک مولکول تا حد امکان به قطب منفی مولکول مجاور نزدیک باشد. در این شرایط بین مولکول‌های مجاور یک نیروی جاذبه الکترواستاتیکی به نام نیروی دوقطبی به وجود می‌آید.

۲. نیروی لاندن (نیروی پراکندگی): برای اینکه ترکیبی به صورت جامد یا مایع باشد. باید نیروهایی، مولکول‌های آن ترکیب را کنار هم نگه دارد. در ترکیبات قطبی به علت وجود اختلاف الکترونگاتیوی بین دو اتم، دو بار جزئی مثبت و منفی در دو سر مولکول حاصل می‌شود و این نیروی دوقطبی، مولکول‌ها را کنار

هم نکه می‌دارد. برای توجیه حالت مایع و جامد مواد غیر قطبی مانند برم و ید نیز، نیروی جاذبه دیگری باید وجود داشته باشد.

۲.۳.۵. پیوند هیدروژنی:

پیوند هیدروژنی نوعی نیروی بین مولکولی است که در آن بین اتم هیدروژن از یک مولکول با اتم‌های الکترون‌گاتیو F و O و N از مولکول دیگر جاذبه‌ای به وجود می‌آید که به پیوند هیدروژنی معروف است. پیوند هیدروژنی فقط بین ترکیبات دارای H و O و N و F وجود دارد یعنی در این ترکیبات هیدروژن به عنوان پلی بین دو اتم الکترون‌گاتیو عمل می‌کند. انرژی لازم برای شکستن یک مول پیوند هیدروژنی از حدود ۱ تا ۱۰ کیلوکالری متغیر است.



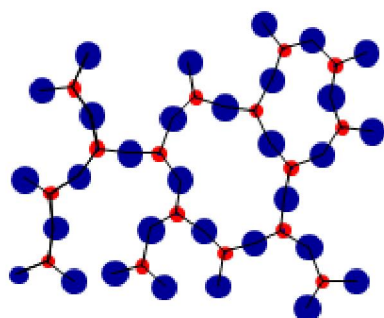
شکل ۱۰.۲: پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب.

اگرچه پیوندهای هیدروژنی ضعیف‌تر از پیوندهای کووالانسی است اما در میان نیروهای بین مولکولی قوی‌ترین آن‌ها به شمار می‌رود. پیوندهای هیدروژنی نقش موثری در ساختار مواد مهم بیولوژیکی شامل پیوندهای N-H و O-H و تعیین خواص آن‌ها دارد. شکل هندسی پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک که مولکول‌های آلی دارای زنجیر بلند هستند با پیوند هیدروژنی میان گروه‌های N-H یک زنجیر و گروه C=O زنجیر مجاور تثبیت می‌شود.

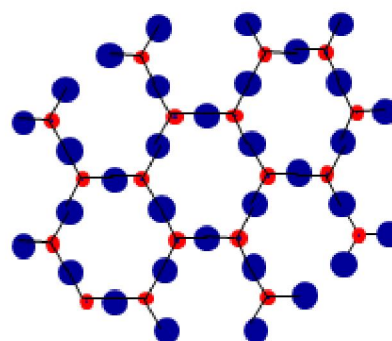
۳. ساختار کریستالی

نظم (Order) را می‌توان را به صورت وجود یک رابطه مشخص بین اجزا به طوری که نسبت هر جز با سایر اجزا مشخص و قابل پیش بینی باشد، تعریف نمود. مواد را از نظر نظم اتمی می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

- مواد بی نظم: مثل گازها
- مواد با نظم بلند دامنه (کریستال) : در این مواد (کریستال‌ها)، اتم‌ها در طی فاصله‌های طولانی اتمی دارای نظم سه بعدی تکرار شونده یا آرایش پیرودی هستند. در واقع طی انجماد، اتم‌ها خود را در یک الگوی سه بعدی تکرار شونده آرایش می‌یابند به صورتی که هر اتم با نزدیک‌ترین اتم همسایه پیوند دارد. در این مواد، عدد همسایگی (تعداد اتم‌های که یک اتم را احاطه کرده و با هم تماس دارند) برای اتم‌ها در سرتاسر کریستال حفظ می‌شود. فلزات، تعداد زیادی از سرامیک‌ها و برخی از پلیمرها در این دسته قرار می‌گیرند.
- مواد با نظم کم دامنه (آمورف) : در این مواد نظم اتمی تا چند فاصله‌ی اتمی حفظ می‌شود و عدد همسایگی متغیر است. مواد پیچیده و یا موادی که در حین سرد کردن با سرعت زیادی سرد می‌شوند دارای از این نوع هستند.



ب



الف

شکل ۱.۳: الف) ساختار کریستالی. ب) ساختار غیر کریستالی یا نظم کم دامنه.

کلمه کریستال (Crystal) ریشه یونانی دارد و از دو کلمه (Kryos = سرد) و (Stellesua = سخت شدن) تشکیل شده است. که مجموعاً معنی «سرد شدن در اثر سرما» را می‌دهد. یونانی‌ها کریستال را برای اشاره به دُر کوهی به کار می‌بردند. آن‌ها اعتقاد داشتند که اگر آب مدتی در دماهای بسیار پایین نگه داشته شود، به حالتی در می‌آید که در دماهای بالا پایدار است.

تفاوت‌های ماکروسکوپی بین دو ساختار میکروسکوپی فوق عبارتند از:

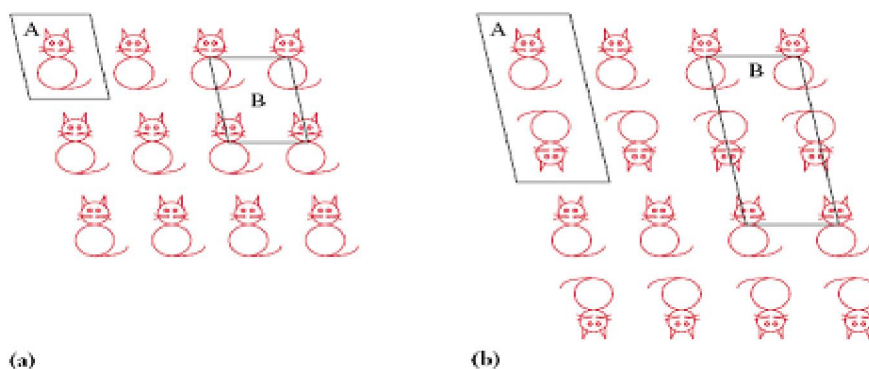
- نقطه ذوب: جامد آمورف مانند شیشه، در برابر گرما یا حرارت به آرامی شل و روان می‌شود تا اینکه تماماً به حالت مایع درآید، یعنی دمای ذوب معینی ندارد. در حالی که بلور دارای نقطه ذوب معینی است. به این دلیل به آمورف مایع فوق سرد شده هم گفته می‌شود. چرا که تغییر ناگهانی در خواص فیزیکی در تغییر حالت جامد به مایع مشاهده نمی‌شود.

- آنیزوتروپی: مقدار یک خاصیت فیزیکی (مانند جذب نور) در بلور به جهت اندازه گیری بستگی دارد ولی در آمورف چنین نیست. اصطلاحاً می‌گوییم آمورف مانند مایع و گاز ایزوتروپ یا همسانگرد است.

۳.۱. شبکه های بلوری

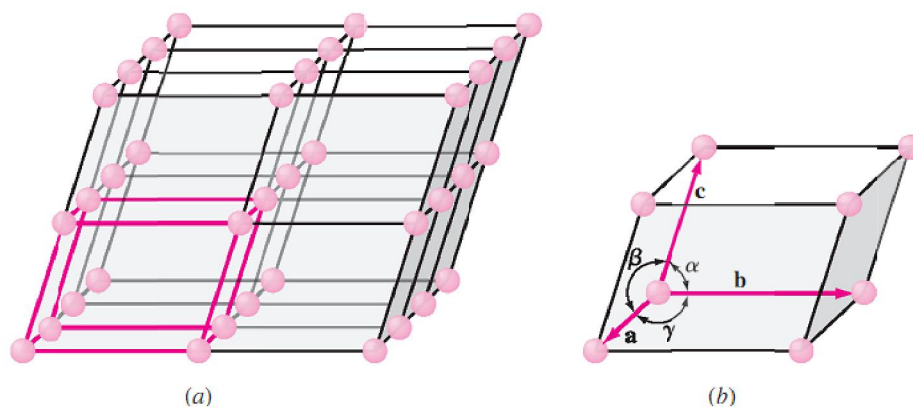
ذرات تشکیل دهنده یک بلور به صورت یک طرح تکراری سه بعدی که شبکه بلور نامیده می‌شود، مرتب شده‌اند. کوچک‌ترین بخش تکرار شونده یک شبکه بلور که تمام خواص و تقارن ساختار بلور را داراست، یا کوچک‌ترین متوازی‌السطوحی که با انتقال پیوسته آن در سه جهت بتوان حجم بلور را پر کرد سلول واحد نام دارد. از لحاظ تئوری اگر سلول واحد را در سه بعد کنار هم قرار دهیم، یک بلور تولید می‌شود.

سلول واحد = طرح تکرار + عنصر تکرار شونده



شکل ۲.۳: طرح وار نشان دهنده سلول واحد.

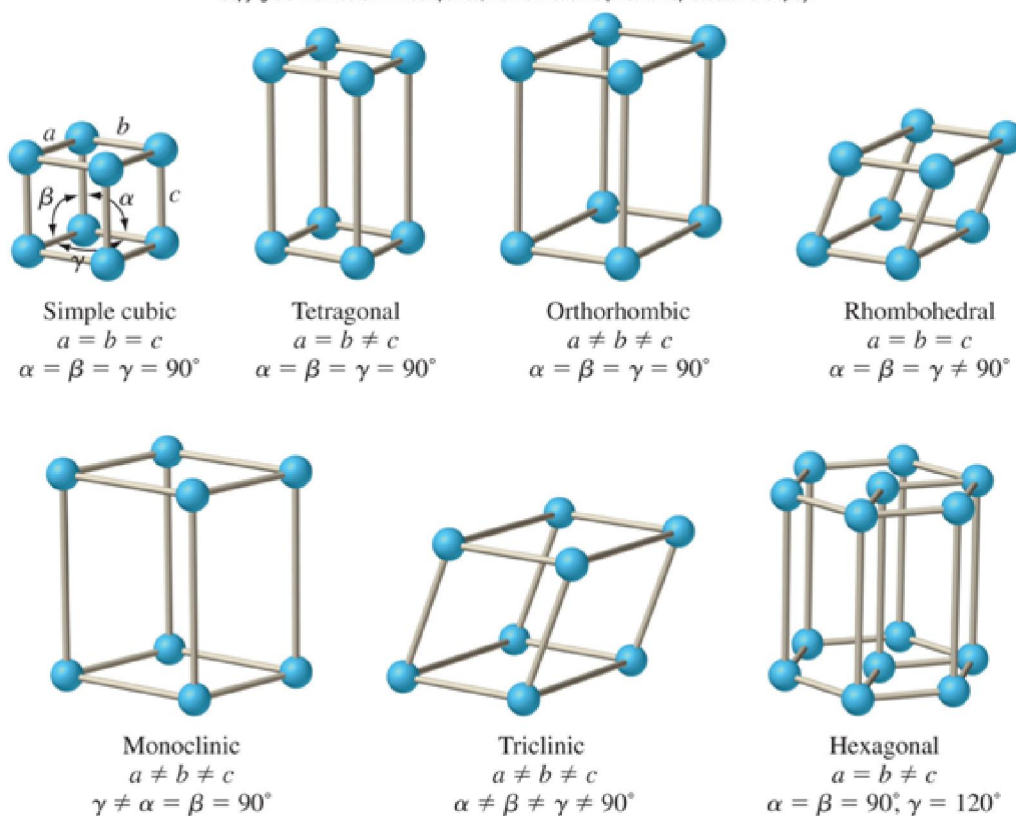
یک سیستم بلور را می‌توان بر حسب ابعاد سلول واحد در امتداد سه محور آن (a, b, c) و اندازه سه زاویه بین این محورها (α, β, γ) توصیف کرد.



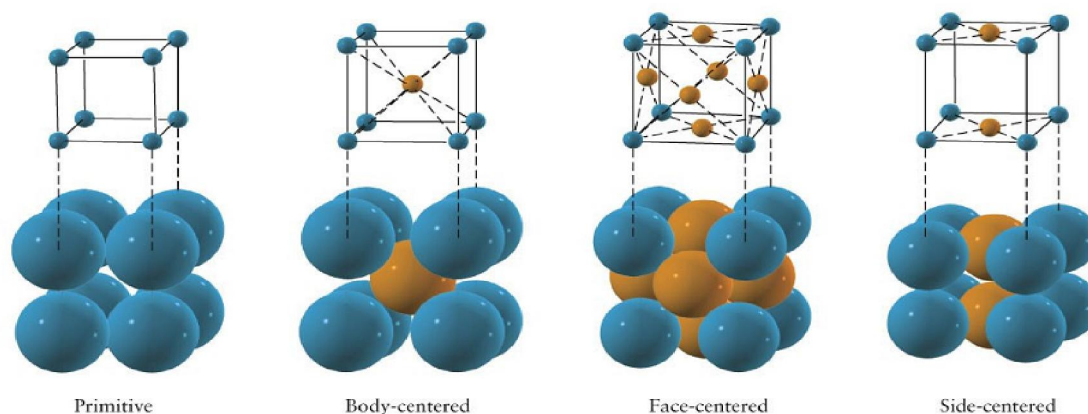
شکل ۳.۳: (الف) سلول واحد، (ب) پارامترهای شبکه (a,b,c) و زوایای شبکه (α, β, γ) سلول واحد.

شبکه براوه (Bravais lattice) آرایه نامحدودی از نقاط گسسته در فضا است که چپش و جهت آن مستقل از نقطه مبدأ باشد. از این گونه شبکه‌ها به منظور مدل‌سازی شبکه‌های بلوری استفاده می‌شود. اگر تنها یک بعد را در نظر گیریم تنها یک شبکه براوه می‌تواند وجود داشته باشد. در دو بعد می‌توان ۵ گونه شبکه براوه داشت. از لحاظ هندسی در سه بعد تنها ۱۴ گونه شبکه براوه مستقل می‌تواند وجود داشته باشد. این ۱۴ گونه، ۱۴ تا از ۲۳۰ گروه فضایی‌اند و در ۷ دستگاه بلوری دسته‌بندی شده‌اند.

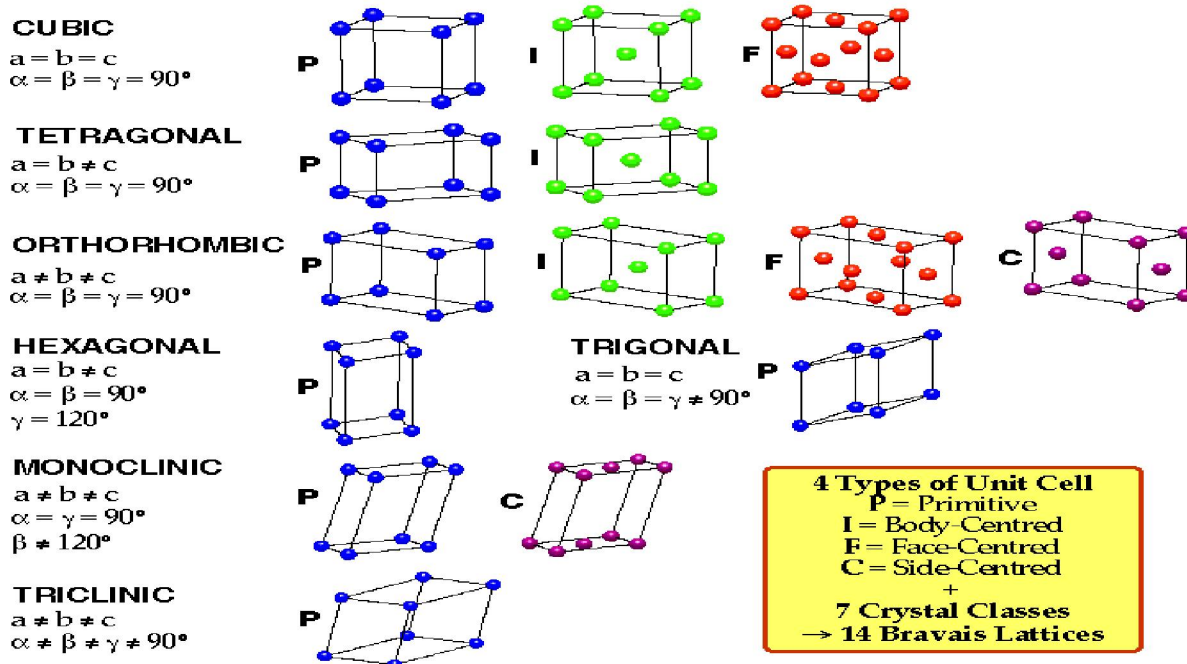
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



شکل ۴.۳: هفت دستگاه بلوری.



شکل ۵.۳: حالت‌های مختلفی که یک دستگاه بلوری می‌تواند داشته باشد. به ترتیب از چپ به راست: ساده (Primitive)، مرکز دار (Body centered)، وجوه مرکز دار (Face centered) و قاعده مرکز دار (Side centered).



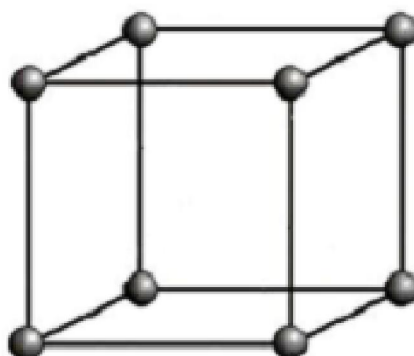
شکل ۶.۳: ۱۴ شبکه براوه.

از میان سیستم‌های بلوری فوق، بیشتر دو سیستم مکعبی (مکعبی مرکز دار و مکعبی وجوه مرکز دار) و هگزاگونال در فلزات وجود دارند؛ لذا در این قسمت تنها به توضیح برخی ویژگی‌های این دو شبکه بلوری می‌پردازیم:

۳.۱.۱. ساختار کریستالی مکعبی ساده (SC):

۱. اگر چه این ساختار در فلزات مهندسی وجود ندارد اما به علت سادگی، ابتدا به بحث در مورد این شبکه می‌پردازیم. موادی نظیر CsBr و CsCl دو نمونه از ترکیبات دارای چنین ساختاری هستند.

روی هر رأس (گوشه های مکعب) یک اتم وجود دارد و به ضلع مکعب، پارامتر شبکه (a) گفته می شود.



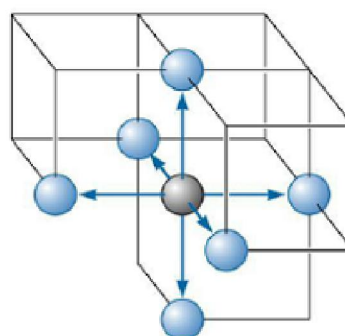
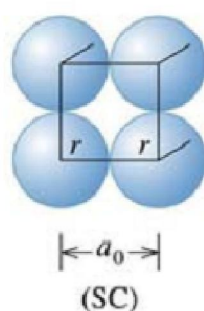
شکل ۷.۳: شبکه کریستالی ساده.

مشخصه های مهم شبکه کریستالی SC:

الف) تعداد اتم به ازای واحد شبکه (N): با توجه به اینکه سهم هر اتم گوشه ۱/۸ است، تعداد خالص اتم ها در یک سلول واحد مکعبی ساده معادل ۱ است.

ب) عدد کثوردیناسیون (همسایگی): تعداد نزدیک ترین اتم های همسایه با فاصله یکسان تا هر اتم در شبکه را عدد همسایگی می گویند. با توجه به شکل عدد همسایگی در این شبکه ۶ است. $(C.N)_{SC} = 6$

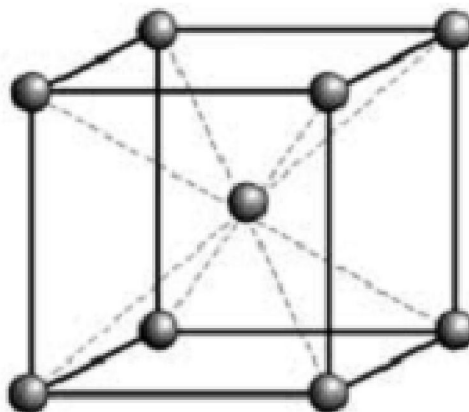
ج) فاکتور تراکم اتمی (APF): این ویژگی درصد فضای شبکه کریستالی است که توسط اتم اشغال شده است و از تقسیم حجم اتم های سلول واحد بر حجم سلول واحد بدست می آید. که برای این ساختار کریستالی برابر با ۰/۵۲ است.



شکل ۸.۳: عدد همسایگی (راست) و ارتباط بین پارامتر شبکه و شعاع اتمی (چپ) در شبکه مکعبی ساده.

۳.۱.۲. ساختار مکعبی مرکز پر (BCC):

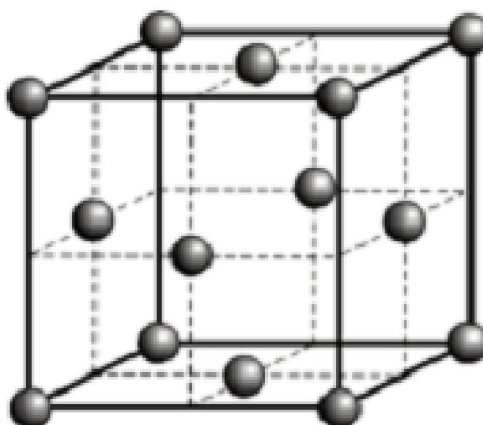
در این ساختار علاوه بر هشت اتم واقع در گوشه های مکعب، یک اتم هم در مرکز آن قرار دارد. تعداد اتم معادل ۲ و عدد همسایگی ۸ است. فلزاتی نظیر V، W، Na و Mo دارای چنین ساختاری هستند. فاکتور تراکم اتمی برای این ساختار برابر با ۰/۶۸ است.



شکل ۹.۳: شبکه مرکز دار.

۳.۱.۳. ساختار مکعبی وجوه مرکز دار (FCC):

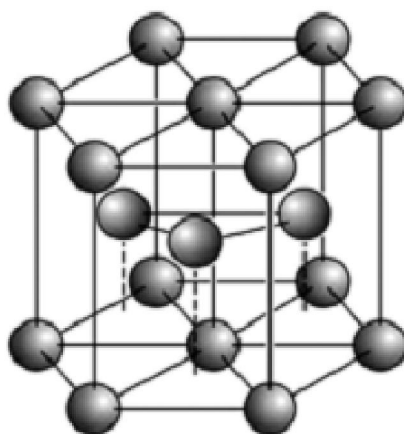
این نوع شبکه در عناصر زیادی از جمله Ag، Cu، Al، Pb، Nb، Ni، Fe(γ) یافت می شود. در این ساختار علاوه بر هشت اتم واقع در گوشه های مکعب، یک اتم هم در مرکز هر یک از وجوه مکعب قرار دارد. با توجه به اینکه سهم هر اتم واقع بر وجوه مکعب در یک سلول واحد برابر با ۱/۲ است، تعداد اتم های معادل برابر ۴ و عدد همسایگی هم ۱۲ است. فاکتور تراکم اتمی برابر با ۰/۷۴ است.



شکل ۱۰.۳: شبکه مکعبی وجوه مرکز دار

۳.۱.۴ - ساختار هگزاگونال فشرده (HCP):

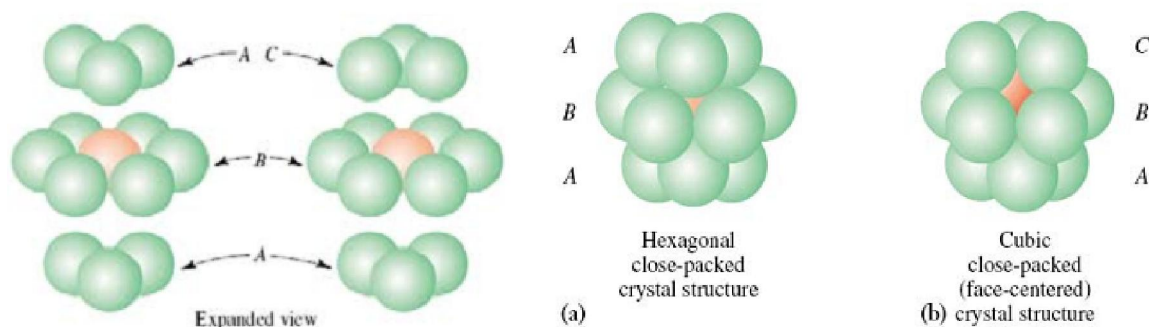
در این شبکه ۲ اتم در مرکز وجوه بالا و پایین، ۱۲ اتم در گوشه ها و سه اتم در داخل حجم سلول واحد (رئوس یک مثلث متساوی الاضلاع) قرار گرفتند. این شبکه در عناصری مانند Mg، Co، Cd، Be، Ti، K و Zn وجود دارد. در اینجا تعداد اتم معادل ۶، عدد همسایگی ۱۲ و فاکتور اتمی این ساختار کریستالی نیز برابر با ۰/۷۴ است.



شکل ۱۱.۳: شبکه منشوری هگزاگونال فشرده.

۳.۱.۵ - شبکه های فشرده

به دو ساختار مکعبی وجوه پر (FCC) و هگزاگونال (HCP) که دارای بالاترین عدد همسایگی ۱۲ و بیشترین فاکتور فشردگی هستند (۰/۷۴)، شبکه های فشرده گفته می شود.



شکل ۱۲.۳: دو شبکه فشرده FCC و HCP. در HCP ترتیب چینش اتم ها به صورت ABAB است در حالی که در شبکه FCC این چینش اتمی به صورت ABCABC است.

۴. فلزات و آلیاژها

۴.۱. فلزات

فلزات یک گروه خیلی با ارزش از مواد هستند که برای هزاران محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند که در تعداد بسیار تولید می‌شوند. فلزات نقش حیاتی در توسعه بشری بازی می‌کنند به گونه ای که حتی دوره های تمدنی بر اساس فلزات مورد استفاده در طول آن دوران طبقه بندی شده‌اند، مانند عصر برنز و عصر آهن.

فلز ماده‌ای است که می‌توان آن را صیقل داده و براق کرد (بجز جیوه که در دمای اتاق به شکل مایع است) یا به طرح‌های گوناگون در آورد و از آن مفتول‌های سیمی ظریف تهیه کرد. فلز ماده ای است که گرما و مهم‌تر از همه جریان الکتریکی را به خوبی هدایت می‌کند. فلزات با یکدیگر فرق زیادی دارند، از جمله در رنگ و سختی و نرمی، تعدادی از آنها ممکن است به آسانی خم شده و یا خیلی محکم و مقاوم باشند شکل ۴.۱ عناصری را که دارای خاصیت فلزی هستند نشان داده است.

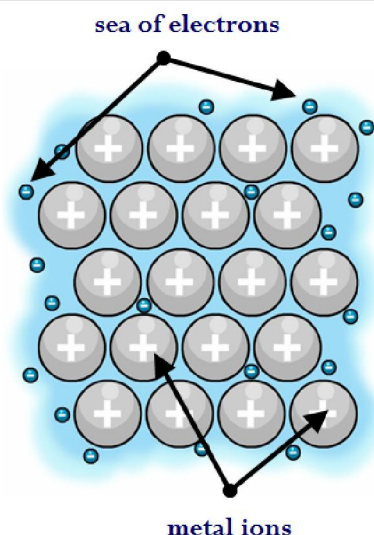
1a																			BLOCK Elements									
1	¹ H	2a																	3a	4a	5a	6a	7a	² He				
2	³ Li	⁴ Be																	⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne				
3	¹¹ Na	¹² Mg	3b	4b	5b	6b	7b	8				1b	2b	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar									
4	¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni	²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br	³⁶ Kr										
5	³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Tc	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd	⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I	⁵⁴ Xe										
6	⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	⁵⁷ La	⁵⁸ Hf	⁵⁹ Ta	⁶⁰ W	⁶¹ Re	⁶² Os	⁶³ Ir	⁶⁴ Pt	⁶⁵ Au	⁶⁶ Hg	⁶⁷ Tl	⁶⁸ Pb	⁶⁹ Bi	⁷⁰ Po	⁷¹ At	⁷² Rn										
7	⁸⁷ Fr	⁸⁸ Ra	⁸⁹ Ac	¹⁰⁴ Rf	¹⁰⁵ Ha	106		108	109																			
* ⁵⁸ Ce ⁵⁹ Pr ⁶⁰ Nd ⁶¹ Pm ⁶² Sm ⁶³ Eu ⁶⁴ Gd ⁶⁵ Tb ⁶⁶ Dy ⁶⁷ Ho ⁶⁸ Er ⁶⁹ Tm ⁷⁰ Yb ⁷¹ Lu LANTHANIDE SERIES																												
* ⁹⁰ Th ⁹¹ Pa ⁹² U ⁹³ Np ⁹⁴ Pu ⁹⁵ Am ⁹⁶ Cm ⁹⁷ Bk ⁹⁸ Cf ⁹⁹ Es ¹⁰⁰ Fm ¹⁰¹ Md ¹⁰² No ¹⁰³ Lr ACTINIDE SERIES																												
	METAL																											

- از ترکیب عناصر فلزی به وجود می آیند.
- اتم‌ها در یک ساختار قابل تکرار منظم مرتب شده‌اند (ساختار کریستالی)
- نسبتاً دارای استحکام خوبی هستند
- چگال هستند
- چکش خوار یا انعطاف پذیر هستند
- چقرمه هستند: در برابر شکست مقاوم هستند
- هادی خوب حرارت و الکتریسیته هستند.
- غیر شفاف هستند
- زمانی که پولیش شوند براق و صیقلی هستند.
- فلزات می‌توانند به راحتی شکل داده شوند و یا ماشین‌کاری شوند.
- آن‌ها به آسانی با سایر عناصر واکنش می‌دهند، مانند Fe و Al به راحتی مانند کانی‌هایشان ترکیب می‌شوند؛ بنابراین آن‌ها باید تحت پروسه زیادی قرار بگیرند تا فلز پایه از آن‌ها استخراج شود.

۴.۲. ساختار فلزات

اتم‌ها در فلزات خالص به صورت لایه‌های به هم فشرده قرار می‌گیرند به طوری که یک ساختار شبکه‌ای منظم را شکل می‌دهند. بیرونی‌ترین الکترون‌های اتم‌های فلز از اتم جدا شده و یک «دریا الکترونی» ایجاد می‌کنند. از آنجا که الکترون‌ها فاقد مکان مشخص هستند، بنابراین به راحتی در میان همه ساختار حرکت می‌کنند. اتم‌های فلز به صورت یون بار مثبت می‌شوند و دریا الکترونی را به سوی خود جذب می‌کنند. این جذب را «پیوند فلزی» می‌نامند.

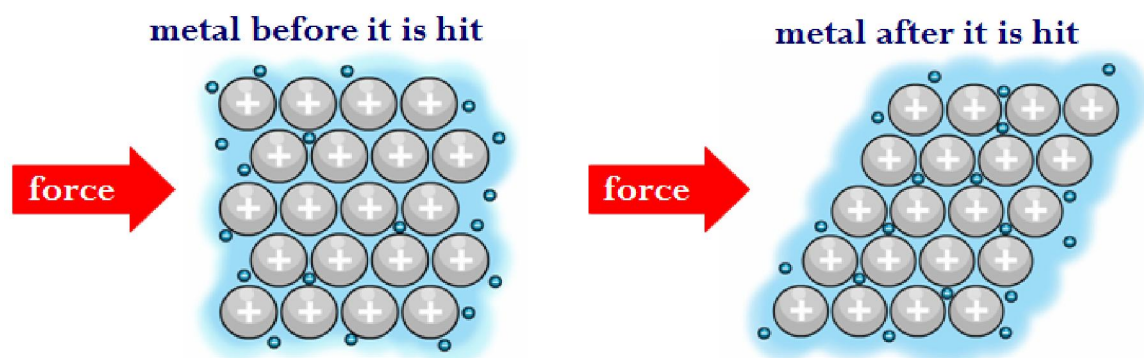
ویژگی‌های فلزها به ساختار و نوع پیوندهای آن‌ها مربوط می‌شود. فلزات اغلب نقطه ذوب و نقطه جوش بالا دارند. برای مثال نقطه ذوب طلا برابر 1064°C و نقطه جوش آن برابر 2807°C است. این ویژگی به سبب نیروی جاذبه قوی مابین یون فلزی با بار مثبت و دریای الکترون است. به همین دلیل در استخراج فلزات و دیگر فرآیندهای صنعتی، کوره‌ها باید به صورت پیوسته کار می‌کنند تا دمای بالای مورد نیاز برای عملیات ذوب فلزات را تأمین نمایند.



شکل ۲.۴: پیوند فلزی در فلزات.

علت هدایت خوب حرارت و الکتریسیته نیز به نوع پیوند فلزات بر می گردد. الکترون های غیر مستقر در پیوند فلزی به فلزات این اجازه را می دهند که حرارت و الکتریسیته را هدایت کنند. برای مثال وقتی یک فلز گرم می شود، الکترون های غیر مستقر انرژی جنبشی پیدا می کنند. بنابراین این الکترون ها سریع تر حرکت می کنند و بدین ترتیب انرژی ایجاد شده را به سرتاسر فلز منتقل می کنند. این امر انتقال حرارت را در فلزات بسیار موثر می نماید. الکترون های غیر مستقر همچنین الکتریسیته را در فلز به همین روش انتقال می دهند.

فلزات معمولاً مستحکم هستند و نه شکننده. وقتی به یک فلز ضربه ای وارد می شود لایه های از یون های فلزی می توانند بر روی یکدیگر بلغزند و بنابراین ساختار خرد نمی شود. پیوندهای فلزی به سبب الکترون های غیر مستقر که آزادانه در سرتاسر ساختار حرکت می کنند نمی شکنند. این امر همچنین توضیح می دهد که چرا فلزات چکش خوار (malleable) هستند (به راحتی شکل می گیرند) و انعطاف پذیر (ductile) هستند (می توان آن ها را کشید تا به سیم تبدیل شوند).



شکل ۳.۴: واکنش پیوند فلزی به اعمال نیرو.

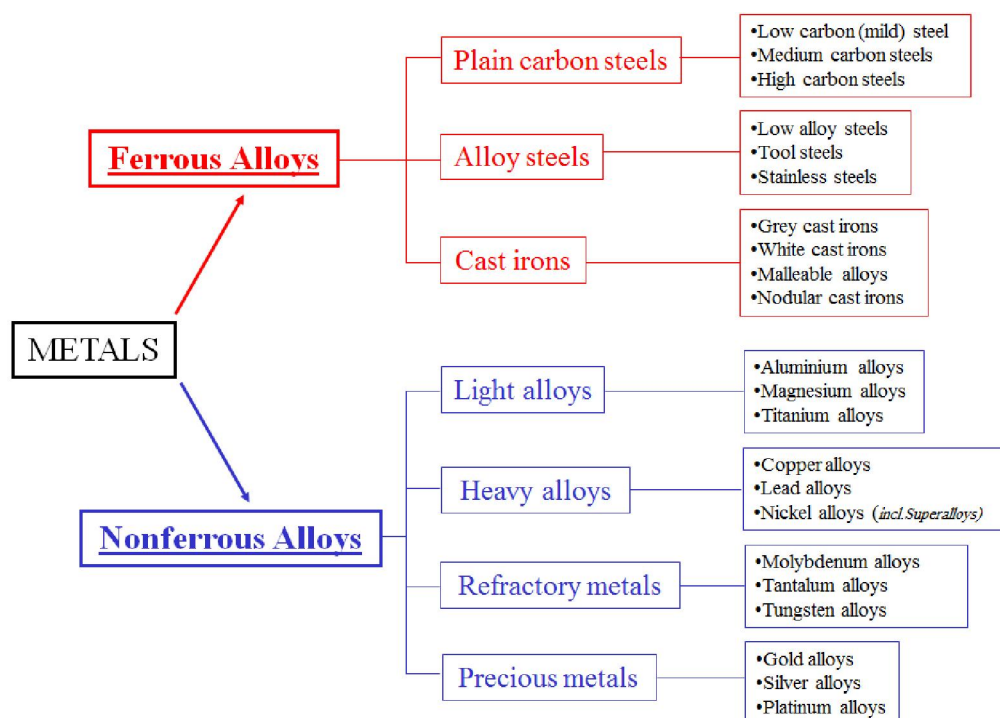
۴.۳. آلیاژ

آلیاژ مخلوطی از یک فلز با حداقل یک عنصر دیگر است. فولاد یک مثال معمول از یک آلیاژ است. این آلیاژ شامل آهن مخلوط شده با کربن و دیگر عناصر است. اضافه کردن عناصر دیگر به یک فلز سبب تغییر ساختار آن می‌شود و بنابراین باعث تغییرات خواص آن می‌شود. آلیاژ نهایی ممکن است خواص خیلی متفاوتی را نسبت به فلز اصلی داشته باشد. با تغییر مقدار هر یک از عنصر در یک آلیاژ، دانشمندان مواد می‌توانند آلیاژهای سفارشی متناسب با کاربرد خواسته شده تولید نمایند.

آلیاژها برای هزاران سال مورد استفاده بشر قرار می‌گرفتند. برنز یک آلیاژ مس و قلع است که به طور معمول در تمدن‌ها قبل از آن که روش‌های استخراج آهن توسعه یابند مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

دیگر آلیاژها معروف عبارتند از :

- برنج: یک آلیاژ از مس و روی است. آن تیره نمی‌شود و آن برای دستگیره در، دکمه‌ها و ابزار آلات موسیقی هستند.
- لحیم: یک آلیاژ از روی و سرب است. آن در الکترونیک و برای اتصال دادن قطعات بردهای مدارها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ملغمه: یک آلیاژ جیوه و نقره یا قلع است. این آلیاژ برای پر کردن دندان استفاده می‌شود زیرا وقتی که گرم می‌شود شکل می‌گیرد و مقاوم به خوردگی است.



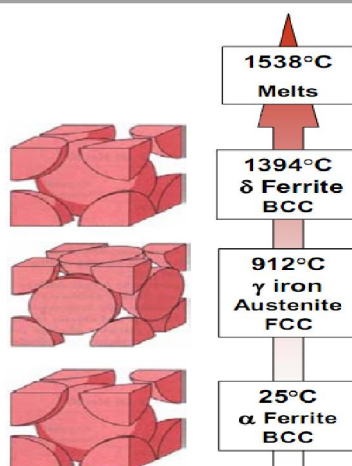
شکل ۴.۴: انواع آلیاژهای آهنی و غیر آهنی.

آلیاژهایی که امروزه مورد استفاده بشر قرار می‌گیرند را می‌توان به صورت نشان داده شده در **Error!** **Reference source not found.** دسته بندی نمود. مطابق این دسته بندی ، فلزات و آلیاژهای آنها را می‌توان به دو دسته عمده فلزات آهنی و فلزات غیر آهنی تقسیم بندی نمود.

۴.۴. فلزات و آلیاژهای آهنی

۴.۴.۱. آهن

آهن شاید بهترین مثال شناخته شده از آلوتروپیک (داشتن چند شبکه بلوری) در یک فلز باشد، سه فرم چند شکلی از آهن وجود دارد که به نام‌های α ، γ و δ شناخته می‌شود، همان طور که آهن ذوب شده سرد می‌شود در دمای ۱۵۳۸ درجه سانتی‌گراد به آلوتروپ δ کریستاله می‌شود که دارای یک ساختمان کریستالی مکعبی مرکز پر است، همان طور که بیشتر سرد می‌شود ساختمان بلوری یا کریستالی در دمای ۱۳۹۴ درجه سانتی‌گراد به شکل مکعبی وجوه مرکز پر تغییر می‌یابد که به نام آهن γ یا آستنیت شناخته می‌شود، در دمای ۹۱۲ درجه سانتی‌گراد ساختمان بلوری یا کریستالی دوباره به مکعبی مرکز پر یا آهن α یا فریت می‌شود. در ۷۷۰ درجه سانتی‌گراد (نقطه کوری، TC) آهن مغناطیسی می‌شود، هنگامی که آهن از دمای کوری عبور می‌کند تغییری در ساختمان کریستالی وجود ندارد اما در ساختمان حوزه تغییری رخ می‌دهد (هر حوزه شامل اتم‌های آهن با یک اسپین الکترونیک خاص می‌باشد). آهن وقتی با بعضی فلزات خاص دیگر و کربن مخلوط می‌شود تا فولاد را ایجاد نماید دارای بیشترین اهمیت خواهد بود، انواع مختلفی از فولاد وجود دارد که دارای خواص متفاوتی می‌باشند و درک خواص آلوتروپ‌های آهن کلید ساخت فولادهایی با کیفیت خوب می‌باشد. آهن α یا همان فریت پایدارترین شکل آهن در دمای اتاق است. این آهن فلز نسبتاً نرمی است که دارای مقدار کمی کربن (نه بیش از ۰/۰۲۲٪ از جرم در ۹۱۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. در دماهای بالای ۹۱۲ درجه سانتی‌گراد و تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد آهن α یک انتقال فاز از حالت مکعب مرکز پر به حالت مکعب وجوه مرکز پر یعنی آهن γ را که آستنیت نیز نامیده می‌شود تجربه می‌کند. این آهن نیز نرم است اما می‌تواند مقدار بسیار بیشتری کربن (به میزان ۰/۴٪ جرمی در دمای ۱۱۴۶ درجه سانتی‌گراد) داشته باشد، این شکل آهن در فولاد ضد زنگ که برای ساختن کارد و چنگال، تجهیزات بیمارستان‌ها و صنایع غذایی به کار می‌رود استفاده می‌شود.

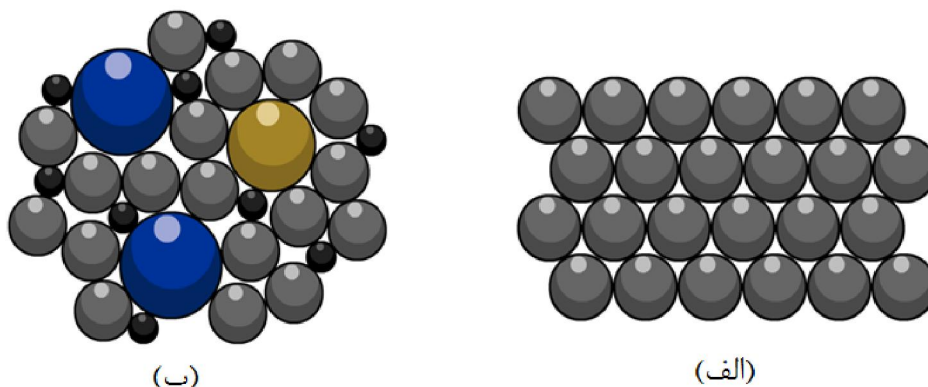


شکل ۵.۴: رفتار آلوتروپیک آهن.

۴.۴.۲. فولاد

به طور معمول به آلیاژ آهن و کربن، فولاد گفته می‌شود. اما از نظر صنعتی فولاد آلیاژی از آهن و کربن است که حداقل چهار عنصر فسفر، گوگرد، سیلیسیم و منگنز به عنوان عنصر همراه، همواره در آن وجود دارند. بر طبق تعریف کلی فولادها آلیاژی از آهن و دیگر عناصر نظیر کربن، نیکل و کروم هستند. فولادها مستحکم‌تر از آهن هستند و می‌توانند برای کاربردهای مختلف از ظروف آشپزخانه تا پل‌ها و نیز کاربردهای فضایی مورد استفاده قرار بگیرند.

علت استحکام بیشتر فولاد نسبت به آهن این است که اتم‌ها در آهن خالص به صورت لایه‌های فشرده مرتب شده‌اند. این لایه‌ها می‌توانند بر روی یکدیگر بلغزند. که این امر آهن را یک ماده خیلی نرم می‌کند. در حالی که در فولادها وقتی دیگر عناصر که اندازه اتمی متفاوتی نسبت به اتم آهن دارند به آهن اضافه می‌شوند، این اتم‌ها ساختار منظم اتم‌های آهن را بر هم می‌زنند. در نتیجه برای لایه‌های اتمی آهن در فولاد لغزش بر روی یکدیگر بسیار دشوار می‌شود و بنابراین این آلیاژ مستحکم‌تر از آهن خالص می‌شوند.



شکل ۶.۴: (الف) آهن خالص، (ب) فولاد.

فولادهای کربنی را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

• درصد عناصر آلیاژی = ۰	فولاد ساده کربنی plain carbon steel
• درصد عناصر آلیاژی ≥ 1	فولاد میکرو آلیاژی micro alloy steel
• $1 \leq$ درصد عناصر آلیاژی ≤ 5	فولاد کم آلیاژی low alloy steel
• $5 \leq$ درصد عناصر آلیاژی ≤ 50	فولاد پر آلیاژی high alloy steel

هر یک از دسته های فوق را نیز می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

• درصد کربن ≥ 0.1	کم کربن Low Carbon Steel
• $0.1 \leq$ درصد کربن ≤ 0.3	نرم Mild Steel
• $0.3 \leq$ درصد کربن ≤ 0.6	کربن متوسط Medium Carbon Steel
• $0.6 \leq$ درصد کربن ≤ 1.7	پرکربن high Carbon steel

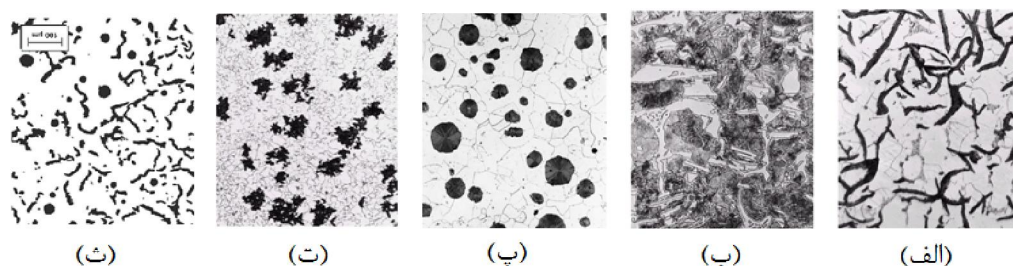
برای این فولادها با توجه به میزان عنصر آلیاژی اضافه شده و نیز مقدار کربن موجود در فولاد خواص گوناگونی را می‌توان ایجاد نمود و بر ای کاربردهای مختلف می‌توان استفاده نمود.

از فولادی که تا ۰/۲ درصد کربن دارد، برای ساختن سیم، لوله و ورق فولاد استفاده می‌شود. فولاد متوسط را برای ساختن ریل، دیگ بخار و قطعات ساختمانی بکار می‌برند. فولادی که کربن زیادی دارد، سخت است و از آن برای ساختن ابزارآلات، فنر و کارد و چنگال استفاده می‌شود. فولادهای زنگ نزن از دسته فولادهای پر آلیاژی هستند که به دلیل خواص مقاومت به خوردگی آن‌ها در محیط‌های خورنده کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده‌اند.

دسته دیگری از فولادها فولادهای ماراجینگ هستند. این فولاد از آلیاژهای آهنی می‌باشد که به دلیل دارا بودن استحکام بالا بدون از دست دادن قابلیت چکش‌خواری، معروف است. آهن با مقادیر بالای نیکل آلیاژ می‌شود تا محصول عملیات حرارتی شده بسیار ویژه‌ای تولید گردد. دیگر عناصر آلیاژی مهم عبارتند از مولیبدن، آلومینیوم، مس و تیتانیوم که برای ایجاد ترکیبات بین فلزی افزوده می‌شود. کبالت حدود ۱۲ درصد برای افزایش سرعت واکنش رسوب سختی و نیز یکنواختی و افزایش میزان رسوبات اضافه می‌شود. فولاد ماراجینگ ذاتاً فاقد کربن می‌باشد و این خصیصه‌ای است که آن را از سایر فولادها متمایز می‌سازد.

۴.۴.۳. چدن

چدن یکی از آلیاژهای مهم آهن است که مهم‌ترین عناصر آلیاژی آن کربن (بین ۲.۱-۴.۵ wt%) و سیلیسیم (معمولاً بین ۱-۳ wt%) هستند. انواع معمول‌تر چدن‌ها عبارتند از: چدن خاکستری، سفید، کروی، چکش خوار و گرافیت فشرده.



شکل ۷.۴: ساختار متالوگرافی چدن‌ها:

(الف) چدن خاکستری، (ب) چدن سفید، (پ) چدن داکتیل، (ت) چدن مالبل، (ث) چدن گرافیت فشرده.

چدن خاکستری به سبب سطح شکست خاکستری ناشی از وجود ورقه‌های گرافیتی به این نام نام‌گذاری شده است. مقدار کربن در این چدن ۳ تا ۴ درصد وزنی و مقدار سیلیسیم ۱-۳ درصد وزنی است. این چدن در برابر بارهای کششی ضعیف و شکننده، مستحکم در برابر بارهای فشاری، مقاوم در برابر سایش، جاذب خوب لرزش است.

افزودن منیزیم و یا سرب به چدن خاکستری قبل از ریخته‌گری ساختار و خواص مکانیکی متفاوتی ایجاد می‌کند و باعث می‌شود که گرافیت‌ها به صورت کروی و نه ورقه‌ای شکل گیرند که به این چدن‌ها، چدن داکتیل گفته می‌شود. این چدن‌ها نسبت به چدن خاکستری انعطاف‌پذیرتر هستند ولی ریخته‌گری آن‌ها سخت‌تر است.

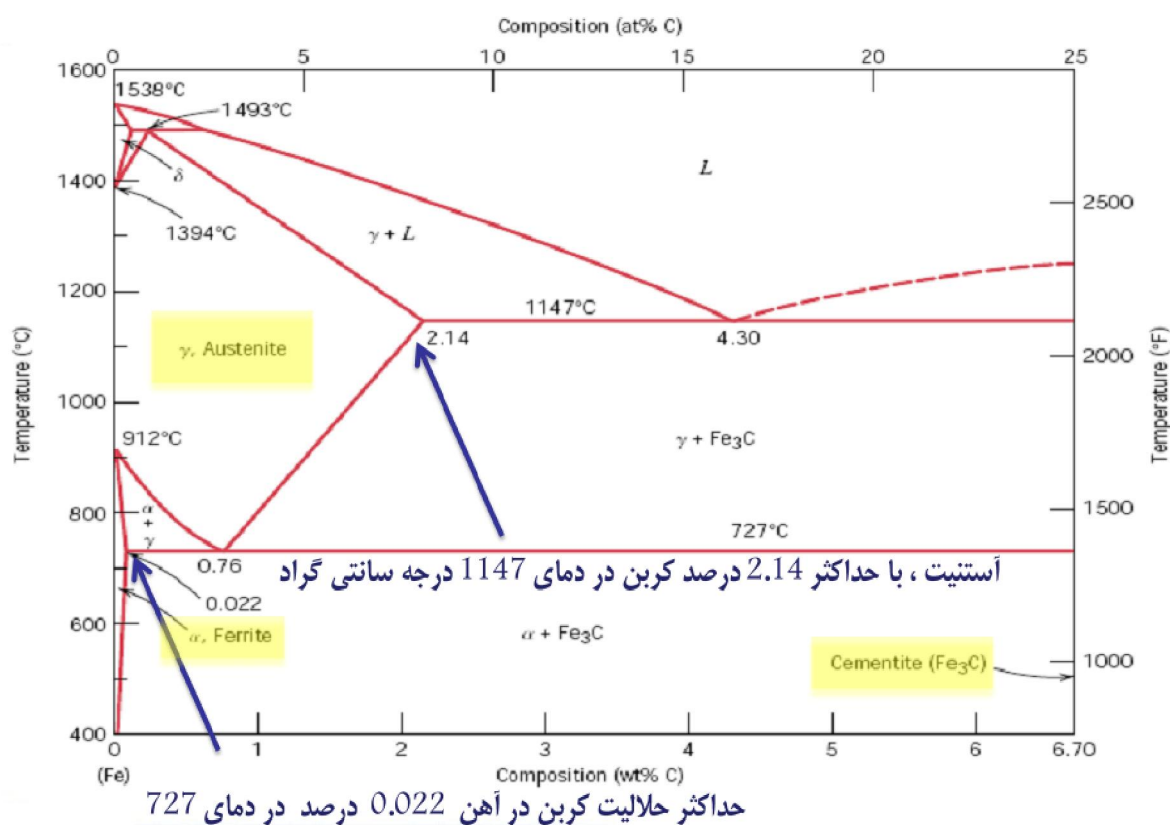
چدن سفید به علت حضور کاربیدها و سطح شکست صیقلی آن به این نام نامیده می‌شوند. درصد وزنی سیلیسیم کمتر از ۱٪ وزنی به اضافه سریع سرد کردن باعث ایجاد ساختار پرلیت + سمنتیت می‌شود و

گرافیت در ساختار وجود ندارد. این نوع چدن سخت ولی شکننده هستند. از این رو کاربرد چدن سفید محدود است؛ و به عنوان ماده اولیه برای تولید چدن مالیبل بکار می‌رود.

چدن مالیبل به وسیله عملیات حرارتی چدن سفید در محدوده دمایی 800°C – 900°C در یک دوره زمانی با تبدیل فاز سمنتیت به گرافیت تولید می‌شود. گرافیت‌ها به شکل کلاستر یا رز شکل که به وسیله فاز زمینه فریت یا پرلیت احاطه شده‌اند شکل می‌گیرند. این نوع چدن مستحکم و انعطاف پذیرند.

در چدن گرافیت فشرده، گرافیت‌ها به صورت کرمی شکل (vermicular) یا ورقه ای با لبه های ضخیم شکل می‌گیرند؛ ساختار و خواص آن‌ها بین چدن خاکستری و چدن داکتیل است. برای تولید این نوع از چدن نیاز به عناصری است که لبه های تیز را کاهش بدهد و گرافیت‌ها را به صورت کروی در آورد. ساختار زمینه آن مطابق با عناصر آلیاژی و یا عملیات حرارتی انجام گرفته بر روی آن است. این چدن‌ها هدایت حرارتی نسبتاً بالا، اکسیداسیون کم در دماهای بالا و مقاومت خوبی در برابر شوک‌های حرارتی دارند.

۴.۴.۴. نمودار آهن-کربن



شکل ۸.۴: دیاگرام آهن-کربن

کاربرد آهن از تمامی فلزات بیشتر است و ۹۵ درصد فلزات تولید شده در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. قیمت ارزان و مقاومت بالای ترکیب آن استفاده از آن را به خصوص در اتومبیل‌ها، بدنه کشتی‌های بزرگ و ساختمان‌ها اجتناب ناپذیر می‌کند. ترکیب آهن و کربن آلیاژی است که بیشترین استفاده را دارد (فولادها و چدن‌ها) از این رو به بررسی نمودار آهن-کربن می‌پردازیم. نمودار تعادلی آهن-کربن (Fe-C) راهنمایی است که به کمک آن می‌توان روش‌های مختلف عملیات حرارتی، فرآیندهای انجماد، ساختار فولادها و چدن‌ها و... را بررسی کرد.

آلیاژهای آهن-کربن را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم نمود:

- آهن خالص تجاری : آلیاژهای آهن-کربن که درصد کربن در آن‌ها کمتر از ۰/۰۰۸ باشد.

- فولاد: آلیاژهای آهن-کربن که درصد کربن در آن‌ها بین ۰/۰۰۸ و ۲/۱۴ باشد.

- چدن: آلیاژهای آهن-کربن که درصد کربن در آن‌ها بیش از ۲/۱۴ باشد.

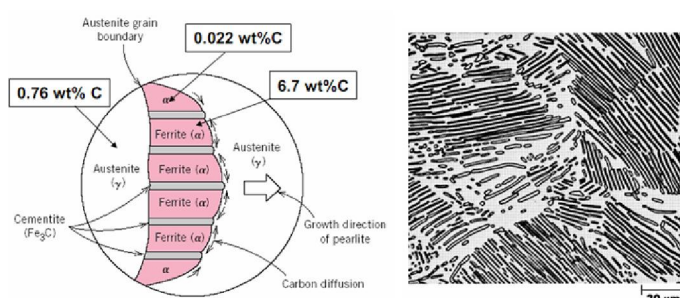
محلول‌های جامد موجود در دیاگرام آهن-کربن عبارتند از:

- به محلول جامد از نوع بین نشینی کربن در آهن آلفا $\alpha\text{-Fe}$ (آهن مکعبی مرکز پر) فریت گفته می‌شود. حداکثر غلظت کربن در فریت حدود ۰/۰۲ درصد وزنی و در دمای ۷۲۷ درجه سانتی‌گراد است.
- آستنیت (Austenite) محلول جامد از نوع بین نشینی کربن در آهن گاما، آهن مکعبی وجوه مرکز پر (FCC) است. حداکثر حلالیت کربن در آهن گاما، ۲ درصد در دمای ۱۱۴۷ درجه سانتی‌گراد است. آستنیت در دمای محیط پایدار نیست.
- سِمنیت یا کاربید آهن یک ماده مرکب شیمیایی به فرمول شیمیایی Fe_3C دارای ۶۷/۶ درصد کربن با ساختار بلوری اورتورومبیک است. سمنتیت فازی بسیار سخت و شکننده است.

در نمودار سه خط افقی دیده می‌شود که نشان دهنده سه واکنش هم دما هستند که عبارتند از:

- استحاله پریتکتیک: این استحاله در دمای 1493°C و در ترکیب آلیاژی ۰.۱۸C-Fe اتفاق می‌افتد. حاصل این واکنش در هنگام سرد کردن تبدیل دو فاز مذاب و فریت به فاز آستنیت و بالعکس می‌باشد.
$$L(0.5\%C) + \delta(0.1\%C) \rightarrow \gamma(0.18\%C)$$

- استحاله یوتکتیک: این استحاله در دمای 1147°C و در ترکیب آلیاژی 4.3C-Fe اتفاق می‌افتد که در نتیجه آن در حین سرد شدن محلول مذاب آهن-کربن به دو فاز آستنیت و سمنتیت تبدیل می‌شود که به این مخلوط لدبوریت می‌گویند.
- استحاله یوتکتوئید: این استحاله در دمای 727°C و در ترکیب آلیاژی 0.76C-Fe روی می‌دهد. در اثر این استحاله در حین سرد شدن فاز جامد آستنیت به دو فاز جامد فریت و سمنتیت تبدیل می‌شود. محصول دگرگونی یوتکتوئید در فولادها میکروساختار منحصر به فردی موسوم به پرلیت است. پرلیت از لایه های متناوب فریت و سمنتیت تشکیل شده است.



شکل ۹.۴: ساختار فاز پرلیت و لایه های متناوب فریت و سمنتیت در این فاز.

۴.۵. فلزات و آلیاژهای غیر آهنی

فلزات غیر آهنی و آلیاژهای آن‌ها در ترکیب خود آهن را به صورت عنصر اصلی ندارد، اگرچه ممکن است شامل مقادیر کمی آهن باشند. آلومینیم، بریلیم و تیتانیوم در کاربردهای سازه ای استفاده می‌شوند. فلزات سبک نظیر لیتیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم کاربردهای مهندسی مهمی دارند. نیکل و سرب کاربردهای گسترده ای دارند. مس که اغلب به سبب هدایت حرارتی و الکتریکی آن انتخاب می‌شود. کادمیم، قلع و روی اغلب در پوشش دهی و کاربردهای الکتریکی استفاده می‌شوند. کبالت و منگنز عناصر آلیاژی معمول در فولاد هستند. طلا، نقره و پلاتین در کاربردهای الکتریکی و جواهرسازی به کار می‌روند. اورانیوم، توریم و پلوتونیوم به عنوان فلزات رادیو اکتیو به عنوان سوخت هسته ای استفاده می‌شوند.

در این قسمت به بررسی ویژگی و خواص و آلیاژهای دو عنصر غیر آهنی مس و آلومینیم می‌پردازیم.

۴.۵.۱. مس

مس یکی از عناصر جدول تناوبی است که نشان آن Cu و عدد اتمی آن ۲۹ می‌باشد. مس فلز نسبتاً قرمز رنگی است که از خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار بالایی برخوردار است. (در بین فلزات خالص، تنها خاصیت هدایت الکتریکی نقره در حرارت اتاق از مس بیشتر است) چون قدمت مصنوعات مسی کشف

شده به ۸۷۰۰ سال قبل از میلاد برمی گردد، احتمالاً این فلز قدیمی ترین فلز مورد استفاده انسان می باشد. مس علاوه بر اینکه در سنگ های معدنی گوناگون وجود دارد، به حالت فلزی نیز یافت می شود. (مثلاً مس خالص در بعضی مناطق).

این فلز را یونانیان تحت عنوان Chalkos می شناختند. چون مقدار بسیار زیادی از این فلز در قبرس استخراج می شد رومیان آن را aes Cyprium می نامیدند. بعدها این واژه به فرم ساده تر cuprum درآمد و در نهایت انگلیسی شده و به لغت مس تبدیل شد.

مس یک فلز انعطاف پذیر با هدایت حرارتی و الکتریکی بالا است و مس خالص نرم و چکش خوار است و به سختی ماشین کاری می شود. مس کاربردهای گسترده ای مانند موارد زیر دارد: سیم های مسی، لوله های مسی، به عنوان جزئی از سکه ها و... مس گزینه مطلوبی برای هدایت الکتریکی است و الکتریسیته را بهتر از هر فلز دیگری به غیر از نقره هدایت می کند. که برای این کاربردها معمولاً از مس با خلوص ۹۸/۹۹٪ استفاده می شود. علاوه بر این مس دارای نقش زیست شناختی نیز می باشد و وجود آن برای کلیه گیاهان و حیوانات عالی ضروری می باشد.

مس معمولاً به شکل معدنی یافت می شود. کانی هایی مثل آزوریت، مالاکیت و برنیت همانند سولفیدهایی از جمله کالکوپریت (CuFeS_2)، کوولین (CuS)، کالکوزین (Cu_2S) یا اکسیدهایی مانند کوپریت (Cu_2O) از منابع مس هستند.

دو دسته عمده آلیاژهای مس برنج ها و برنز ها می باشند. برنج ها اساساً آلیاژهای مس و روی هستند. روی در این آلیاژها به صورت جانشینی قرار دارد. برخی از آن ها شامل مقادیر کمی از عناصر دیگر نظیر: سرب، قلع یا آلومینیم هستند. تغییرات در ترکیبات شیمیایی موجب تغییرات در رنگ، استحکام، داکتیلیتی، قابلیت ماشین کاری، مقاومت خوردگی یا ترکیبی از چنین خواصی خواهد شد. به همین دلیل این آلیاژ کاربرد فراوانی در صنایع الکتریکی، شیمیایی، غذایی، صنعتی حرارتی و تزئینی دارد.

به لحاظ کلی برنز به آلیاژهای مس به علاوه یک عنصر غیر از روی اطلاق می شود؛ مانند آلیاژ مس و آلومینیوم که به آلومینیوم برنز مشهور است. یا مس و نیکل که به نیکل برنز مشهور است. مِفرَغ آلیاژی است از مس و قلع که با آن ابزارهای مختلف و مجسمه را تهیه می کنند. مِفرَغ قدیمی ترین آلیاژی است که انسان آن را تهیه کرده اند، زیرا در معادن مس، معمولاً فلز مس به طور طبیعی با قلع به صورت یک آلیاژ طبیعی وجود دارد به همین دلیل معمولاً نخستین ابزارهای مصنوعی فلزی که در قدیم توسط بشر ساخته شده غالباً از مِفرَغ است. برنرها مستحکم تر از برنج ها هستند و مقاومت به خوردگی و خواص کششی خوبی دارند. برنز

ها با توجه به نوع آنها کاربردهای مختلفی از کاربری‌های تزئینی تا کاربردهای صنعتی دارند. برنرها را می‌توان در پمپ‌ها، شیرها، یاتاقان‌ها، مبدل‌های حرارتی و ... استفاده نمود.

۴.۵.۲. آلومینیم

آلومینیوم، عنصر شیمیایی است که در جدول تناوبی دارای علامت Al و عدد اتمی ۱۳ می‌باشد. آلومینیوم که عنصری نقره‌ای و انعطاف‌پذیر است، عمدتاً به صورت سنگ معدن بوکسیت یافت می‌شود و از نظر مقاومتی که در برابر اکسیداسیون دارد، همچنین وزن و قدرت آن، قابل توجه است. آلومینیوم در صنعت برای تولید میلیون‌ها محصول مختلف بکار می‌رود و در جهان اقتصاد، عنصر بسیار مهمی است.

آلومینیوم، فلزی نرم و سبک، اما قوی است، با ظاهری نقره‌ای - خاکستری مات و لایه نازک اکسایش که در اثر برخورد با هوا در سطح آن تشکیل می‌شود، از زنگ خوردگی بیشتر جلوگیری می‌کند. وزن آلومینیوم تقریباً یک سوم فولاد یا مس است. چکش خوار، انعطاف‌پذیر و به راحتی خم می‌شود. همچنین بسیار بادوام و مقاوم در برابر زنگ خوردگی است. بعلاوه، این عنصر غیر مغناطیسی، بدون جرقه، دومین فلز چکش خوار و ششمین فلز انعطاف‌پذیر است.

برخی از کاربردهای فراوان آلومینیوم عبارتند از: حمل و نقل (اتومبیل‌ها، هواپیماها، کامیون‌ها، کشتی‌ها، ناوگان‌های دریایی، راه آهن و...) بسته‌بندی (قوطی‌ها، فویل و...) ساختمان (درب، پنجره، دیوار پوشش‌ها و...) کالاهای با دوام مصرف‌کننده (وسایل برقی خانگی، وسایل آشپزخانه، ...). خطوط انتقال الکتریکی (به علت وزن سبک اگرچه هدایت الکتریکی آن تنها ۶۰٪ هدایت الکتریکی مس می‌باشد). اجزای سازه‌هایی که از آلومینیوم ساخته می‌شوند، در صنعت هوانوردی و سایر مراحل حمل و نقل بسیار مهم هستند. همچنین در سازه‌هایی که در آنها وزن پایداری و مقاومت لازم هستند، وجود این عنصر اهمیت زیادی دارد. آلومینیوم با انرژی زیادی اکسید می‌شود و در نتیجه در سوخت موشک‌های مورد استفاده واقع می‌شود.

اگر چه آلومینیم فراوان‌ترین فلز در پوسته زمین است (حدود ۸٪ وزنی) اما به صورت غیر ترکیبی وجود ندارد و از اجزاء سنگ‌های معدنی از جمله خاک رس، بوکسیت، میکا، فلدسپار، کریولیت و همچنین الکترولیز بوکسیت بدست می‌آید. آلومینیم به صورت تجاری از طریق پروسه Hall-Heroult تهیه می‌شود.

۵. سرامیک

به مواد معمولاً جامدی که بخش عمده تشکیل دهنده آن‌ها مواد غیر فلزی و غیر آلی باشد، سرامیک گفته می‌شود. واژه سرامیک از واژه یونانی کراموس (κεραμικός) گرفته شده است که به معنی سفال یا شیء پخته‌شده است. این تعریف نه تنها سفالینه‌ها، پرسلان (چینی)، دیرگدازها، محصولات رسی سازه‌ای، ساینده‌ها، سیمان و شیشه را در بر می‌گیرد، بلکه شامل آهن‌رباهای سرامیکی، لعاب‌ها، فرو الکتریک‌ها، شیشه-سرامیک‌ها، سوخت‌های هسته‌ای و... نیز می‌شود.

برخی آغاز استفاده و ساخت سرامیک‌ها را در حدود ۷۰۰۰ سال ق. م. می‌دانند در حالی که برخی دیگر قدمت آن را تا ۱۵۰۰۰ سال ق. م نیز دانسته‌اند. مهم‌ترین عناصر پوسته زمین عبارتند از: اکسیژن ۵۰٪، سیلیسیم ۲۶٪ و آلومینیم ۸٪ بنابراین می‌توان حدس زد که مواد اولیه سرامیکی (پوسته زمین) در واقع همان ترکیبات اکسیدی سیلیسم و آلومینیم هستند، لذا به آن‌ها آلومینو سیلیکات گفته می‌شود.



شکل ۱.۵: برخی از کاربردهای مواد سرامیکی.

مواد سرامیکی که هم خصوصیات مواد آلی و هم خصوصیات مواد فلزی را دارا می‌باشند؛ مانند: مقاومت در برابر الکتریسیته و حرارت، مقاومت در برابر شکل‌پذیری، سختی، شکنندگی و سایر خواص. به طور کلی خواص سرامیک‌ها عبارتند از:

- به غیر از شیشه، اتم‌ها به طور منظم چیده شده‌اند.
- از ترکیب اتم‌های فلزی و غیر فلزی تشکیل شده‌اند.
- نسبت به اکثر فلزات دارای دانسیته کمتری هستند.
- مستحکم‌تر از فلزات می‌باشند.
- مقاومت در برابر شکست کمی دارند و به عبارتی چقرمگی کمی دارند و تر و شکننده می‌باشند.

- نقطه ذوب بالایی دارند.
- هادی ضعیف الکتریسیته و حرارت هستند.
- در حالت تک کریستال شفاف هستند.

عنصری که در تشکیل سرامیک‌ها می‌توانند شرکت داشته باشند در شکل ۵.۲ نشان داده شده است.

1a																		2a to 8a																		2 He
1	¹ H	2a																3a	4a	5a	6a	7a														
2	³ Li	⁴ Be																	⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne												
3	¹¹ Na	¹² Mg	3b	4b	5b	6b	7b	8				9b	10b	11b	12b	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar															
4	¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni	²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br	³⁶ Kr																		
5	³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Tc	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd	⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I	⁵⁴ Xe																		
6	⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	⁵⁷ La	⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Re	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt	⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ At	⁸⁶ Rn																		
7	⁸⁷ Fr	⁸⁸ Ra	⁸⁹ Ac	¹⁰⁴ Rf	¹⁰⁵ Ha	106		108	109																											
* 58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu LANTHANIDE SERIES																																				
* 90 Th 91 Pa 92 U 93 Np 94 Pu 95 Am 96 Cm 97 Bk 98 Cf 99 Es 100 Fm 101 Md 102 No 103 Lr ACTINIDE SERIES																																				
CERAMICS AND GLASSES																																				

فیلتر پرس ساخته می‌شود. آجرهای تولید شده در روش مدرن هم استحکام بیشتر و هم ابعاد دقیق‌تر و هم صافی سطوح بیشتر دارند.

۳- کاشی: قطعاتی مسطح از سفال می‌باشند که تنها یک روی آن‌ها لعاب داده می‌شود (ضد آب کردن کاشی) و طرف دیگر را با دوغاب سیمان به دیوار می‌چسبانند؛ کاشی در دو نوع دیواری و زمینی (موسوم به سرامیک) تولید می‌گردد. کاشی‌های زمینی می‌بایست قطورتر و محکم‌تر بوده و ضریب استحکام سطحی آن مناسب باشد؛ لذا کاشی کف می‌بایست از مواد زود گداز تر ساخته شود تا عمل هم جوشی بیشتری در آن اتفاق افتد.

۴- چینی: به قطعاتی سفید، محکم، با جذب آب بسیار کم گفته می‌شود که فلدسپات، کوارتز، رس سه جزء اصلی آن می‌باشند. هر چه دمای پخت چینی بیشتر باشد آن چینی مرغوب‌تر بوده و صدای زنگ ناشی از آن نیز بیشتر است. بر اساس دمای پخت چینی‌ها به دو گروه چینی نرم (1250°) و چینی سخت (1250° - 1450°) تقسیم می‌شود.

۵- دیرگدازها: فراورده‌هایی می‌باشند که دارای استحکام کافی بوده و می‌توانند در دمای بالا کار کنند؛ استفاده از آن‌ها در ساخت انواع کوره‌ها یا تولید مصالح ساختمانی. دیرگدازها عموماً یا به صورت آجر و بلوک تولید می‌شوند (آجرهای نسوز شومینه) یا به صورت ملات‌های نسوز ساخته می‌شوند (سیمان نسوز تولید شده از جرم یا شلاکه یا سرباره) دیرگدازهای سنتی می‌توانند تا 1900° سانتی‌گراد را تحمل کنند در صورتی که دیر گدازهای نوین می‌توانند تا 3000° سانتی‌گراد را تحمل کنند.

۶- ساینده‌ها و سنباده‌ها: از مواد سرامیکی طبیعی که در طبیعت یافت می‌شود. (الماس و کوارتز) که دارای سختی فوق‌العاده می‌باشند که جهت تهیه ساینده و سنباده کاربرد دارند. برای ساخت ساینده‌ها این ذرات را ابتدا توسط قالب شکل می‌دهند سپس با اعمال حرارت آن را زینتر می‌کنند به قطعه ای فوق‌العاده سخت و محکم تبدیل می‌گردد. در حالی که جهت تولید سنباده‌ها ابتدا ذرات را دانه بندی نموده و توسط چسب‌هایی مقاوم بر روی مقوا یا پارچه می‌چسبانند.

۷- لعاب: پوششی است شیشه ای زود گداز که با ضخامت کم بر روی قطعه قرار گرفته و توسط حرارت ذوب و تثبیت می‌گردد، باید توجه نمود که لعاب علاوه بر ظروف سرامیکی بر روی قطعات فلزی نیز کاربرد دارند. (کتری لعابی، سینک لعابی و بخاری)

۸- شیشه: شیشه یک ماده غیر آلی، غیر فلزی است که ساختار کریستالی ندارد. به این مواد آمورف گفته می‌شود و انجماد با سرعت‌های بالا انجام گیرد که ساختار کریستالی تشکیل نشود، ایجاد می‌شوند. شیشه‌ها

به طور گسترده ای برای پنجره ها، شیشه نوشیدنی ها، بطری ها، لوله های انتقال استفاده می شوند و برای مایعات بسیار خورنده، شیشه ای نوری و پنجره ها در کاربردهای هسته ای قابل کاربرد هستند.

اصلی ترین جز تشکیل دهنده شیشه اکسید سیلیسیم (SiO_2) یا همان سیلیکا است. بیشترین فرم سیلیکا مورد استفاده در صنعت شیشه سازی ماسه است. دمای ذوب سیلیکا در حدود 1700°C است که با افزودن سایر عوامل شیمیایی این دما کاهش داده می شود.

۵.۱.۲. سرامیک های مدرن:

سرامیک های مدرن یا نوین (سرامیک های مهندسی) در ساخت این سرامیک ها به سه نکته اهمیت می دهند؛
۱- خلوص در مواد، ۲- روش های ویژه تولید، ۳- کنترل دقیق بر فرآیند تولید.

سرامیک های مدرن امروزه کاربرد وسیعی در صنایع و پزشکی پیدا کرده اند؛ مانند: فرآورده های ویژه و سرامیک های تکنیکی، دیرگذاها، فرآورده های زمخت، فرآورده های ظریف. این فرآورده ها عمدتاً از مواد اولیه خالص و سنتزی ساخته می شوند. این نوع سرامیک ها اکثراً در ارتباط با صنایع دیگر نظیر صنایع الکترونیک، تحقیقات فضایی، انرژی هسته ای، نیروی برق، صنایع هواپیمایی مطرح شده اند.

۶. پلیمر

بسیار یا پلیمر (polymer) ماده‌ای شامل مولکول‌های بزرگی است که از به هم پیوستن واحدهای کوچک تکرار شونده که تکپار یا مونومر نامیده می‌شود، ساخته شده است. پلیمرها معمولاً مواد آلی بر پایه کربن و هیدروژن و دیگر مواد غیر فلزی هستند. بیشتر مواد اساسی همچون پروتئین، چوب، کتین، لاستیک خام (کائوچو) و رزین‌ها بسیار هستند. بسیاری از مواد مصنوعی همچون پلاستیک‌ها، الیاف مصنوعی (نایلون، ریون و ...)، چسب‌ها، شیشه و چینی مواد پلیمری هستند

بشر با تلاش برای دستیابی به مواد جدید، با استفاده از مواد آلی (عمدتاً هیدروکربن‌ها) موجود در طبیعت به تولید مواد مصنوعی نایل شد. این مواد عمدتاً شامل عنصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد بوده و به نام مواد پلیمری معروف هستند. مواد پلیمری یا مصنوعی کاربردهای وسیعی، از جمله در ساخت وسایل خانگی، اسباب بازی‌ها، بسته بندی‌ها، کیف و چمدان، کفش، میز و صندلی، شلنگ‌ها و لوله های انتقال آب، مواد پوششی به عنوان رنگ‌ها برای حفاظت از خوردگی و زینتی، لاستیک‌های اتومبیل و بالاخره به عنوان پلیمرهای مهندسی با استحکام بالا حتی در دماهای نسبتاً بالا در ساخت اجزایی از ماشین آلات، دارند.

پلیمرها خواص فیزیکی و مکانیکی نسبتاً خوب و مفیدی دارند. آن‌ها دارای وزن مخصوص پایین و پایداری خوب در مقابل مواد شیمیایی هستند. بعضی از آن‌ها شفاف بوده و می‌توانند جایگزین شیشه ها شوند. اغلب پلیمرها عایق الکتریکی هستند. اما پلیمرهای خاصی نیز وجود دارند که تا حدودی قابلیت هدایت الکتریکی دارند. عایق بودن پلیمرها به پیوند کووالانسی موجود بین اتم‌ها در زنجیرهای مولکولی ارتباط دارد. اما تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر نشان داد که امکان ایجاد خاصیت هدایت الکتریکی در امتداد محور مولکول‌ها وجود دارد. تفلون از مواد پلیمری است که به دلیل ضریب اصطکاک پایینی که دارد به عنوان پوشش برای جلوگیری از چسبیدن مواد غذایی در وسایل پخت و پز استفاده می‌شود.

ویژگی عمومی پلیمرها عبارتند از:

- پیوند کووالانسی (الکترون اشتراکی) دارند.
- نرم، انعطاف پذیر می‌باشند و استحکام پایین، چگالی کم دارند و در دماهای بالا ناپایدار هستند.
- عایق حرارت و الکتریسیته هستند.
- نیمه شفاف یا شفاف هستند.

سه دسته اصلی پلیمرها عبارتند از:

• ترموستها (Thermosets)

• ترموپلاستیکها (Thermoplastics)

• الاستومرها (Elastomers)

ترموستها یا گرما سخت پلیمرهای متقاطعی هستند که یک شبکه ۳ بعدی را شکل می‌دهند و بنابراین محکم و صلب هستند. پلاستیک‌هایی که با واکنش و عملیات حرارتی یا شیمیایی سخت شده، به شکل دائمی در می‌آیند و نمی‌توان آن‌ها را مجدداً نرم کرد.

ترموپلاستیکها یا گرما نرم پلیمرهایی با زنجیره‌ی بلند هستند که وقتی که گرم می‌شوند به راحتی روی یکدیگر می‌لغزند بنابراین تمایل دارند که به آسانی خم شوند و بشکنند. موادی که در هنگام سردسازی، سخت می‌شوند و با حرارت دادن دوباره می‌توان آن‌ها را مجدداً نرم و قالب گیری کرد.

الاستومر پلیمری است که قابلیت ارتجاعی زیادی دارد. نام الاستومر از دو قسمت «الاستو» (برگرفته از «الاستیک» و به معنای ارتجاعی) و «مر» (برگرفته از «پلیمر») تشکیل شده است.

جدول ۱.۶: انواع پلیمرهای موجود در دسته های اصلی پلیمرها.

Thermoplastics	Thermosets	Elastomers
Acetals ➤	Amino resins ➤	Natural rubber ➤
Acrylics - PMMA ➤	Epoxies ➤	Synthetic rubbers ➤
Acrylonitrile-Butadiene- ➤	Phenolics ➤	butadiene rubber ■
- ABS Styrene ➤	Polyesters ➤	butyl rubber ■
Cellulosics ➤	Polyurethanes ➤	chloroprene rubber ■
Fluoropolymers - PTFE , ➤	Silicones ➤	ethylene-propylene ■
Teflon ➤		rubber
Polyamides (PA) - Nylons, ➤		isoprene rubber ■
Kevlar ➤		nitrile rubber ■
Polysters - PET ➤		polyurethanes ■
Polyethylene (PE) - ➤		silicones ■
HDPE, LDPE ➤		styrene-butadiene ■
Polypropylene (PP) ➤		rubber
Polystyrene (PS) ➤		thermoplastic ■
Polyvinyl chloride (PVC) ➤		elastomers

منشأ پلیمرها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

۱. پلیمرهای زیستی (طبیعی)

- پروتئین‌ها: شاخ، غضروف، مو، چرم، رباط، عاج
- ساختارهای کامپوزیتی: استخوان‌ها، صدف‌ها
- مواد گیاهی

○ رشته سلولزی (پنبه، کنف)

○ ماده چوب و سلولز (چوب)

- کتین (پوسته خارجی محافظ حشرات و خرچنگ‌ها)

۲. پلیمرهای سنتز شده (مصنوعی)

- ذغال

- نفت

- گاز طبیعی

چند کاربرد مهم پلیمرها عبارتند از:

پلی آمید (نایلون) : برای تهیه الیاف، طناب، تسمه، البسه، پلاستیک صنعتی، جایگزین فلز در ساخت غلتک یا تاقان، بادامک، دنده، وسایل الکتریکی بکار می‌رود.

پلی استر: به صورت الیاف، جهت تهیه انواع لباس‌ها، نخ لاستیک، به صورت لایه برای تهیه نوار ضبط صوت و فیلم بکار می‌رود.

پلی اتیلن (کم چگالی، شاخه‌دار) : به صورت لایه ورقه در صنایع بسته بندی، کیسه پلاستیکی، الیاف پارچه بافتنی، بسته‌بندی غذای منجمد، پرده، پوشش پلاستیکی، عایق، سیم و کابل، بطری بکار می‌رود.

پلی استیرل: برای تهیه رزین‌های تبادل یونی، انواع کوپلیمرها، رزین‌های ABC، مواد اسفنجی، وسایل نوری، وسایل خانگی، اسباب بازی، مبلمان بکار می‌رود.

۷. کامپوزیت

در مهندسی مواد این اصطلاح معمولاً به موادی گفته می‌شود که یک فاز زمینه (ماتریکس) و یک تقویت کننده (پرکننده) تشکیل شده باشند؛ یا به ترکیب ماکروسکوپی دو یا چند ماده مجزا که سطح مشترک مشخصی بین آن‌ها وجود داشته باشد، کامپوزیت گفته می‌شود. کامپوزیت از دو قسمت اصلی ماتریکس و تقویت کننده تشکیل شده است. ماتریکس با احاطه کردن تقویت کننده آن را در محل نسبی خودش نگه می‌دارد. تقویت کننده موجب بهبود خواص مکانیکی ساختار می‌گردد. به طور کلی تقویت کننده می‌تواند به صورت فیبرهای کوتاه و یا بلند و پیوسته باشد.

از اولین کامپوزیت‌ها یا همان چند سازه‌های ساخت بشر می‌توان به کاه گل اشاره کرد. قایق‌هایی که سرخ‌پوست‌ها با قیر و بامبو می‌ساختند و تنورهایی که از گل، پودر شیشه و پشم بز ساخته می‌شدند و در نواحی مختلف کشورمان یافت شده است، از کامپوزیت‌های نخستین هستند.

جدول ۷.۱ انواع کامپوزیت‌هایی را که می‌توان با توجه به فاز زمینه (Matrix) و ذره تقویت کننده (Reinforcement) تشکیل داد، را نشان می‌دهد.

جدول ۱.۷: انواع کامپوزیت‌های ممکن.

Primary Phase, Matrix				
Secondary Phase, Reinforcement		Metal	Ceramic	Polymer
	Metal	Infiltrated powder metallurgy parts	Cermets	Some molding compounds Brake linings
	Ceramic	Cermets Cemented carbides Fiber-reinforced metals	SiC whisker-reinforced Al ₂ O ₃	Plastic molding compounds Fiberglass-reinforced plastic
	Polymer	NA	NA	Kevlar-reinforced epoxy
	Elements (e.g., C, B)	Fiber-reinforced metals	NA	Rubber with carbon black B- or C-reinforced plastics

NA = not applicable currently.

برخی از ویژگی‌های مهم کامپوزیت‌ها عبارتند از:

- از ترکیب دو یا تعدادی بیشتری ماده مختلف بدست می‌آید. مثلاً فایبرگلاس ترکیبی از شیشه و پلیمر است یا بتن و تخته سه لا نوعی کامپوزیت هستند.
- خواص به مقدار و توزیع هر یک از مواد بستگی دارد (فلز/سرامیک، پلیمر/پلیمر و ...)
- خواص مجموعه مطلوب‌تر از هر یک از مواد به صورت مجزا می‌باشد به عبارتی کامپوزیت‌ها جهت استفاده از بهترین خواص هر یک از مواد و با ادغام آن‌ها ساخته می‌شوند.
- معمولاً دارای استحکام بالا، وزن سبک، مقاوم به شکست خوب هستند.

کامپوزیت‌ها را می‌توان بر مبنای فاز زمینه آن‌ها دسته بندی نمود. بر این اساس سه دسته کامپوزیت خواهیم داشت:

۱. کامپوزیت‌های زمینه فلزی (MMC) (Metal Matrix Composites)
۲. کامپوزیت‌های زمینه پلیمری (PMC) (Ceramic Matrix Composites)
۳. کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی (CMC) (Polymer Matrix Composites)

نوع دیگری از دسته بندی بر مبنای نوع ذره تقویت کننده را می‌توان برای مواد کامپوزیتی به کار برد.

۱- ذره ای : کامپوزیت‌های ذره ای نوعی از کامپوزیت‌ها هستند که از ذرات پراکنده شده در فاز زمینه تشکیل شده‌اند. در این حالت ذرات ترد و سخت به طور همگن در ماتریس نرم پراکنده می‌شوند مانند بسیاری از آلیاژهای فلزی که فازی سخت در زمینه نرم پراکنده شده است مثال فراوان آن در توزیع سنگ در بتن مشاهده می‌شود.

۲- رشته ای : این نوع کامپوزیت‌ها از الیاف‌های پیوسته و یکپارچه ساخته شده که الیاف‌ها در طول ماتریس امتداد دارند.

۳- لایه ای : این نوع کامپوزیت‌ها از لایه ای از مواد مختلف تشکیل شده‌اند، لایه ها یا ورقه ها از مواد به هم پیوسته با یک چسب عالی می‌باشند. استحکام، وزن کم، سختی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر سایش از ویژگی‌های این نوع کامپوزیت‌ها می‌باشند.

۴- اسکلتی : در کامپوزیت‌های اسکلتی ماتریس اسکلتی توسط یک ماده ثانویه پر شده است.

علاوه بر این کامپوزیت‌ها را می‌توان بر مبنای منشأ آن‌ها به دو دسته تقسیم نمود:

۱. کامپوزیت‌های طبیعی. مانند استخوان، ماهیچه، چوب و ...
۲. کامپوزیت‌های مصنوعی (مهندسی)

مزایای استفاده از کامپوزیت‌ها عبارت است از:

- کامپوزیت‌ها می‌توانند بسیار محکم و سفت بوده در حالی که بسیار سبک باشند.
- لذا نسبت استحکام به وزن و یا سفتی به وزن آن‌ها چندین برابر فلزاتی مثل فولاد و آلومینیوم است؛ لذا در صنایع هوا فضا و یا وسایل پزشکی موارد استفاده فراوان دارند.
- در مقابل خستگی بسیار مقاوم‌تر از فلزاتی هستند که در صنعت استفاده می‌شوند.
- عموماً قابلیت ضربه پذیری با چقرمگی آن‌ها بسیار بالاست.
- در مقابل خوردگی می‌توانند بسیار مقاوم باشند و در صنعت خودروسازی موارد استفاده زیادی می‌توانند داشته باشند.
- خواص سطحی، مثل صافی سطح و یا نرم بودن آن‌ها بسیار بالاتر از پلیمرها می‌باشد.
- می‌توان ترکیبی از خواص مختلف در آن‌ها ایجاد نمود که توسط فلزات، سرامیک‌ها و یا پلیمرها قابل دسترسی نمی‌باشد.

در کنار این مزایا کامپوزیت‌ها دارای معایبی نیز می‌باشند، که مهم‌ترین این معایب عبارتند از:

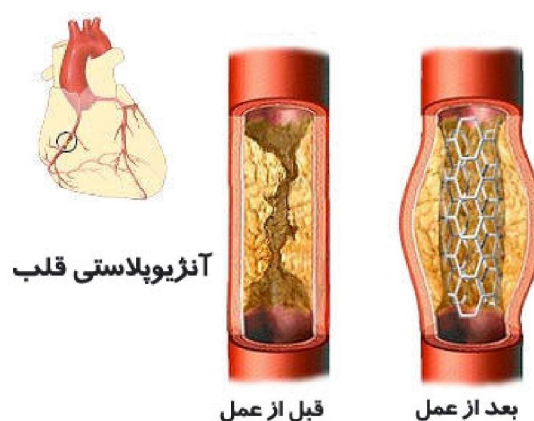
- قابلیت بازیابی آن‌ها کم است و یا به روش‌های پرهزینه برای بازیابی آن‌ها نیاز است.
- روش تولید آن‌ها عموماً پرهزینه و زمان بر می‌باشد.
- عموماً از مواد نسبتاً گران قیمت می‌باشند.
- خواص بسیاری از کامپوزیت‌ها ناهمسانگرد بوده، یعنی خواص آن‌ها در جهات مختلف متفاوت است که البته این موضوع می‌تواند در پاره ای از مصارف نکته قوت و در برخی نقطه ضعف باشد.

برخی از موارد کاربرد کامپوزیت‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- صنعت هوا-فضا: ساخت بدنه هواپیما. ساخت پره های توربین بادی و پره های هلی کوپتر. پوشش رادار هواپیما.
- صنعت نفت و گاز: به منظور ترمیم و تقویت سازه های فرسوده و ترمیم لوله های فرسوده نفت و گاز، عایق توربین.
- صنایع دریایی: ساخت بدنه کشتی و تأسیسات فرا ساحلی.
- صنعت ساختمان: پوشش کف -نما-سقف و برج‌های خنک کننده.
- صنعت خودرو سازی: ساخت خودروهای سبک و در نتیجه کم مصرف‌تر.

۸. بیومواد

بیومواد یا ماده زیستی به ماده‌ای با منشأ مصنوعی یا طبیعی گفته می‌شود، که به منظور بهبود، درمان، التیام و یا جایگزینی بافت موجودات زنده به کار می‌رود و در طراحی‌های کاشتنی‌های پزشکی، طراحی‌های ابزارهای پزشکی و تشخیص درمان در دارو سازی، جراحی، دندان پزشکی و پزشکی هسته ای و علوم پایه پزشکی کاربرد دارند. نمونه های از کاربرد این دسته از مواد برای باز نگه داشتن رگ های خونی در نشان داده شده است.



شکل ۱.۸: استفاده از بیومواد در جراحی آنژیوپلاستی قلب.

ویژگی‌های این دسته از مواد عبارتند از:

- از نظر شیمیایی خنثی باشند.
- اثر سوء بر بافت‌های مجاور نداشته باشند.
- طول عمر آنها زیاد باشد.
- استحکام خستگی بالا داشته باشند.
- بر فرآیندهای متابولیسم آزاد بدن تأثیر مخرب نداشته باشند.

عوامل فوق «فاکتورهای سازگاری زیستی» نامیده می‌شوند.

این مواد ممکن است از فلزات، پلیمرها و یا نیمه هادی‌ها باشند.

۹. نیمه هادی‌ها

نیمه هادی‌ها گروهی از مواد هستند که از نظر توانایی هدایت الکتریکی بین هادی‌ها و عایق‌ها قرار دارند. این عناصر انرژی الکتریکی را به راحتی از خود عبور نمی‌دهند. انتقال انرژی الکتریکی در این مواد به عواملی مانند تحریک نوری، افزایش دما و میزان ناخالصی‌های آنان بستگی دارد. از این خواص در علم الکترونیک استفاده‌های زیادی می‌شود.

نیمه رساناها می‌توانند از یک عنصر، ترکیب، اکسید و یا مواد آلی ساخته شده باشند. نیمه رساناهای عنصری مانند سیلیکون، ژرمانیوم، تلوریم، فسفر و ... و ترکیباتی مانند تلورید سرب، سولفید روی و ... و ترکیبات آلی مانند پلی استیلن و پلی دی استیلن نیز از این دسته‌اند. معروف‌ترین عناصر خالص که به عنوان نیمه رسانا شناخته شده‌اند مانند سیلیکون، کربن، ژرمانیوم را می‌توان در گروه چهارم یافت. اما متداول‌ترین عناصر که در دستگاه‌های میکرو الکترونیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند از گروه‌های سه و پنج از گروه‌های اصلی جدول تناوبی هستند. ترکیبات دوتایی نیمه‌رساناها کاربردهای زیادی دارند همچنین ترکیبات سه تایی و چهارتایی برای کاربردهای ویژه‌ای استفاده شده‌اند. بنابراین بیشتر نیمه رساناها شامل آلیاژهای با سه عنصر یا بیشتر می‌باشند. عناصر گروه ۵ بیشتر برای داپ کردن (دوپینگ یا آلیاژ) نیمه‌رساناهای گروه ۴ و یا به عنوان عنصر آلیاژی در ترکیبات نیمه رساناها استفاده می‌شوند.

از نیمه رساناها برای ساخت قطعاتی مانند دیود، ترانزیستور، تریستور، آی سی ... استفاده می‌شود. ظهور نیمه رساناها در علم الکترونیک انقلاب عظیمی را در این علم ایجاد کرده که اختراع رایانه یکی از دستاوردهای این انقلاب است. برخی دیگر از نیمه هادی‌ها می‌توانند زمانی که به یک زمینه‌ی الکتریکی متصل می‌شوند از خود نور متصاعد کنند. از این دسته کاربرد می‌توان به دیودهای لیزری و دیودهای انتشار نور اشاره کرد.

۱۰. خواص مکانیکی مواد

خواص و ویژگی‌های هر ماده را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود که عبارتند از خواص فیزیکی، خواص مکانیکی. خواص شیمیایی مواد. که در این فصل به معرفی برخی از این خواص پرداخته و برخی از روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱۰.۱. خواص فیزیکی مواد

پاسخ مواد در اندر کنش با سایر صورت‌های انرژی (مانند انرژی مغناطیسی، الکتریکی، حرارتی و ...) را خواص فیزیکی گویند. برخی از این خواص عبارتند از:

- خواص الکتریکی : هادی یا مقاوم بودن در برابر جریان الکتریسیته.
- خواص مغناطیسی: خواص پارامغناطیس، خواص دیامغناطیس، خواص فرومغناطیس.
- خواص دی الکتریکی: قطبش پذیری، ظرفیت خازنی، خواص فروالکتریکی، پیزوالکتریک و پیروالکتریک.
- خواص نوری: ضریب شکست، جذب، انعکاس و عبور دهی، انکسار مضاعف.
- خواص حرارتی: هدایت حرارتی، انبساط حرارتی، حرارت ویژه، نقطه ذوب و جوش.
- چگالی / دانسیته

۱۰.۲. خواص شیمیایی مواد

این خواص به ساختار ماده و پیوند های اتمی و ... مربوط می‌شوند. برخی از این ویژگی‌ها عبارتند از:

- خواص خوردگی
- خواص بیولوژیکی: ایجاد مسمومیت، زیست سازگاری
- قابلیت اکسید شدن
- قابلیت شعله‌ور شدن.

۱۰.۳. خواص مکانیکی مواد

پاسخ مواد در برابر یک نیروی اعمالی را خواص مکانیکی گویند. به عبارتی دیگر عکس‌العمل مواد جامد در مقابل نیروها، گشتاورها و یا به طور کلی هر نوع تنش‌های خارجی وارد بر آن، اعم از استاتیکی و دینامیکی، در شرایط خاص محیط کار یا محیط آزمایش، رفتار یا خواص مکانیکی نامیده می‌شود.

خواص مکانیکی شامل سختی، استحکام، مدول الاستیسیته و چقرمگی شکست، رفتار خستگی و خزشی خواصی هستند که تعیین کننده رفتار مواد در برابر نیروهای وارده هستند. این خواص پیش از آنکه یک قطعه مورد استفاده قرار گیرد، بایستی به طور کامل بررسی شوند. چنانچه قطعه مورد نظر در جایی بکار رود که تحت تنش‌های مکانیکی باشد، به ترتیب در تنش‌های دوره ای و در درجه حرارت‌های بالا در دو مورد اخیر، مورد بررسی قرار می‌گیرند. پس از بررسی خواص مکانیکی قطعه از طریق انجام آزمایشات مربوطه و بدست آمدن نتایج، مناسب بودن قطعه برای کاربرد مورد نظر مشخص می‌گردد. چنانچه خواص مکانیکی قطعه‌ای با شکل و ترکیب مشخص مطابق با مقادیر مطلوب نباشد، به کمک تغییر در ترکیب ماده و به روش‌های مختلفی مانند مکانیزم‌های استحکام دهی می‌توان به مقدار مطلوب دست پیدا نمود.

۱.۰.۳.۱. سختی (Hardness):

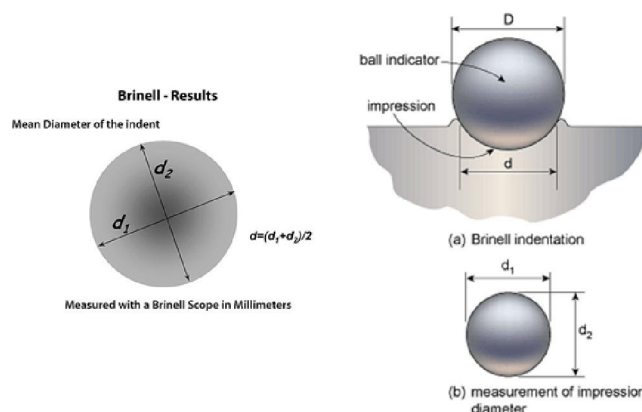
یکی از معیارهای مقاومت مواد جامد در برابر تغییر شکل پلاستیک است. معیارها و آزمون‌های مختلفی برای سختی مواد وجود دارد اما تمام آن‌ها از مقاومت ماده در برابر یک فرورونده یا خراشنده با اعمال نیروی مشخص بر ابزاری با شعاع یا قطر مشخص سختی ماده را ارزیابی می‌کنند.

انواع معیارهای سختی سنجی عبارتند از:

- سختی سنجی برینل
- سختی سنجی ویکرز
- سختی سنجی راکول
- سختی سنجی نوپ
- سختی سنجی موهس

۱.۰.۳.۱.۱. آزمون سختی برینل

یکی از معیارهای سختی است که بر اساس مقاومت مواد در برابر فرورونده کروی شکل از جنس فولاد یا کاربید تنگستن سختی آن‌ها را تعیین می‌کند. مقدار سختی با اندازه گیری قطر عرقچین که توسط نافذ کروی روی نمونه ایجاد می‌شود، به وسیله میکروسکوپی که شامل یک مقیاس چشمی است اندازه گیری می‌شود. معمولاً محاسبه ضروری نیست زیرا جدول‌هایی برای قطر عرقچین به شماره سختی برینل موجود است.

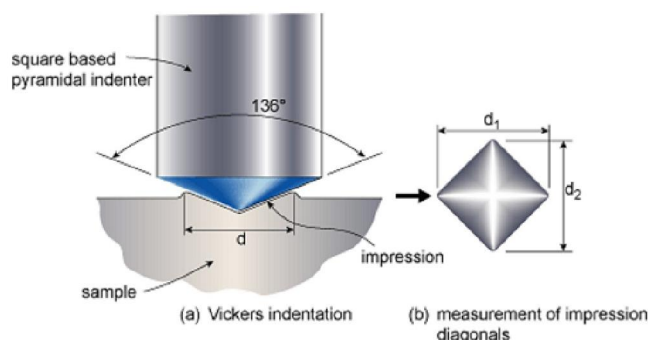


شکل ۱.۱۰: آزمون سختی سنجی برینل.

در روش برینل سطح اثر فرورفتگی نسبتاً بزرگ است به طوری که در اندازه گیری سختی غیر یکنواختی‌های بسیار جزیی در نتیجه آزمایش تأثیر ندارد. این روش برای مواد بسیار نرم و بسیار سخت مناسب نیست و ضخامت نمونه نباید کمتر از ده برابر عمق فرورفتگی باشد، به همین دلیل محدودیت در ضخامت نمونه وجود دارد. در این روش لبه های فرورفتگی را نمی‌توان همواره به راحتی دید، به ویژه زمانی که فلز دارای رنگ خاصی نیز باشد.

۱.۳.۱.۲. آزمون سختی ویکرز (Vickers hardness)

یکی از معیارهای سختی است که بر اساس مقاومت مواد در برابر فرورونده هرمی شکل از جنس الماس سختی آن‌ها را تعیین می‌کند. فرورونده بکار رفته در این روش، المان هرمی با قاعده مربع شکل است که سطوح مقابل آن با زاویه ۱۳۶ درجه به یکدیگر می‌رسند. کارکرد دستگاه سختی سنجی ویکرز بر اساس اصول دستگاه برینل است. واحد سختی ویکرز کیلوگرم نیرو بر میلی‌متر مربع است و مقادیر حاصل به صورت $xxxHV_{yy}$ گزارش می‌شوند که xxx میزان سختی و yy نیروی اعمال شده بر فرورونده است.



شکل ۲.۱۰: آزمون سختی سنجی ویکرز

سختی سنجی ویکرز برای اندازه گیری سخت‌ترین مواد تحت بارهای متغیر بسیار دقیق و مناسب است. اما گرانی دستگاه، حساسیت فرو رونده و صرف وقت زیاد برای تهیه نمونه از مقاطع نازک و اندازه گیری قطر اثر آن از معایب این روش هستند.

۱۰.۳.۱.۳. آزمون سختی سنجی نوپ (Knoop)

این روش مشابه روش سختی سنجی ویکرز است. در این روش از یک فرورونده هرمی شکل از جنس الماس استفاده می‌شود و نیروی وارده بر آن بین ۱۵ گرم تا ۳ کیلو گرم نیرو است.

۱۰.۳.۱.۴. آزمون سختی راکول (Rockwell Hardness)

یکی از معیارهای سختی است که بر اساس مقاومت مواد در برابر فرورونده با اعمال بار بزرگ‌تر در مقایسه با بار اولیه سختی آن‌ها را تعیین می‌کند. معیارهای مختلفی برای این سختی وجود دارد که هرکدام توسط یک حرف انگلیسی نشان داده می‌شود. جدول ۱۰.۱ انواع فرورونده ها و نیروی مورد استفاده در این روش را نشان می‌دهد. این آزمون سختی از وسیله ای استفاده می‌کنند که بر اساس عمق نفوذ مستقیماً عدد سختی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰.۱: معیار های مختلف در آزمون سختی سنجی راکول:

معیار	مخفف	بار	فرورونده	کاربرد
A	HRA	kgf 60	مخروط الماسی 120°	فولادهای نازک و سخت‌کاری سطحی شده
B	HRB	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/16 اینچ	آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای مس و فولادهای نرم
C	HRC	kgf 150	مخروط الماسی 120°	فولادهای سخت، آلیاژهای تیتانیوم
D	HRD	kgf 100	مخروط الماسی 120°	آهن مالیل برلینی
E	HRE	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/8 اینچ	چدن، آلیاژهای آلومینیوم منیزیم
F	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/16 اینچ	آلیاژهای مس آنیل‌شده
G	HRG	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/16 اینچ	برلیم-مس، آهن‌های مالیل
H	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/8 اینچ	آلومینیوم، روی، سرب
K	HRF	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/8 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
L	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/4 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
M	HRF	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/4 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
P	HRF	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/4 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
R	HRF	kgf 60	کره فولادی با قطر 1/2 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
S	HRF	kgf 100	کره فولادی با قطر 1/2 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک
V	HRF	kgf 150	کره فولادی با قطر 1/2 اینچ	مواد بسیار نرم یا نازک

از مزایای این روش اندازه گیری سختی‌های بالا و سرعت عمل بالای آن است که می‌تواند در تولیدات سری سازی کاربرد زیادی داشته باشد. ولی از این روش برای اندازه گیری نمونه های نازک‌تر از ۱/۵ mm و سطوح ناصاف و یا غیر یکنواخت مانند چدن خاکستری نمی‌توان استفاده نمود.

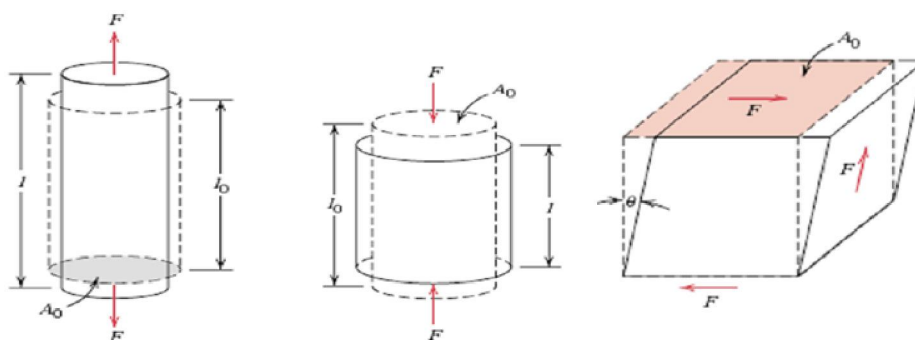
۱۰.۳.۱.۵. آزمون سختی سنجی موهس

در این روش مقاومت مواد در برابر خراش برداشتن توسط ماده دیگر مورد سنجش قرار می‌گیرد و از روی چگونگی خراش، سختی مشخص می‌شود. این روش معمولاً برای تعیین سختی مواد معدنی به کار می‌رود. در این روش ده سنگ معدنی به عنوان معیار به ترتیب سختی به صورت ذیل مرتب می‌شوند: ۱. پودر تالک، ۲. گچ، ۳. کالسیت، ۴. فلوریت، ۵. آپاتیت، ۶. فلداسپات، ۷. کوارتز، ۸. یاقوت کبود، ۹. یاقوت سرخ، ۱۰. الماس. هر سنگ معدنی قادر به خراش دادن سنگ معدنی قادر با درجه سختی کمتر است.

۱۰.۳.۲. آزمون کشش (Tensile Test)

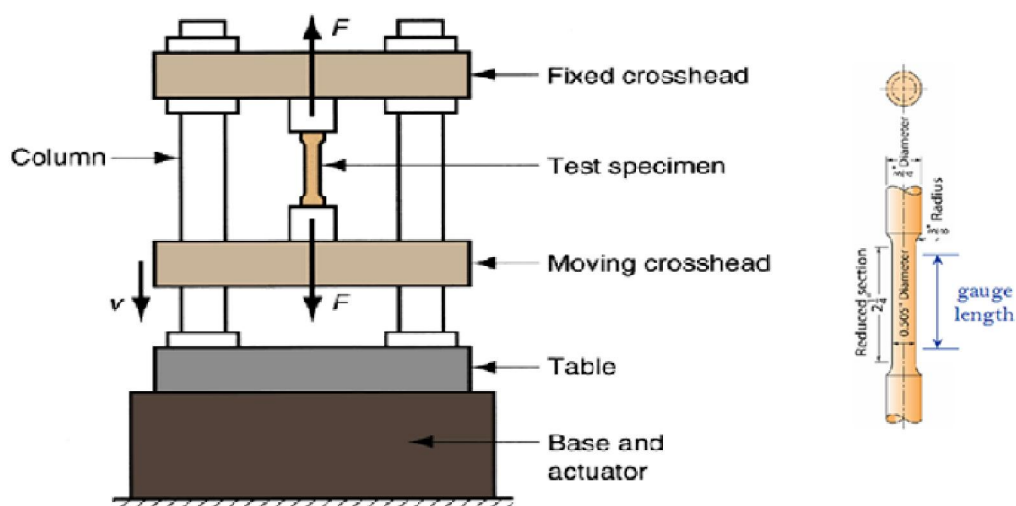
نیروهای خارجی وارد بر یک جسم باعث تغییر شکل و به وجود آمدن نیروهای مخالف داخلی برای حفظ حالت اولیه می‌شود. این نیروهای داخلی را تنش می‌نامند. هرگاه به جسمی تنش وارد شود در صورتی که آن تنش:

- کششی باشد، تغییر شکل ایجاد شده ازدیاد طول جسم در جهت نیرو است.
- تنش فشاری باشد، به صورت کاهش طول ظاهر می‌شود.
- تنش مماسی (برشی) باشد، تغییر شکل به صورت تغییر زاویه و برش خواهد بود.



شکل ۳.۱۰: انواع تغییر شکل در ماده در اثر تنش کششی، فشاری و برشی.

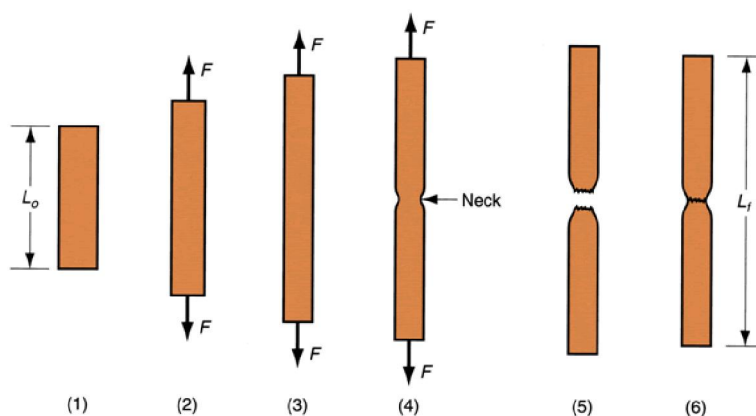
مهم‌ترین و معمول‌ترین آزمون مواد برای بدست آوردن خواص مکانیکی آزمون کشش است. این آزمون برای بدست آوردن خواص مکانیکی نظیر استحکام، انعطاف پذیری، چقرمگی، مدول الاستیک و کرنش سختی استفاده می‌شود. در این آزمون نمونه تهیه شده استاندارد بین دو فک دستگاه آزمون قرار داده می‌شود و کشیده می‌شود و انبساط نمونه در طول آزمون اندازه گیری می‌شود.



شکل ۴.۱۰: شماتیک دستگاه آزمون کشش و نمونه استاندارد استوانه ای.

مراحل تغییر طول نمونه به صورت زیر خواهد بود:

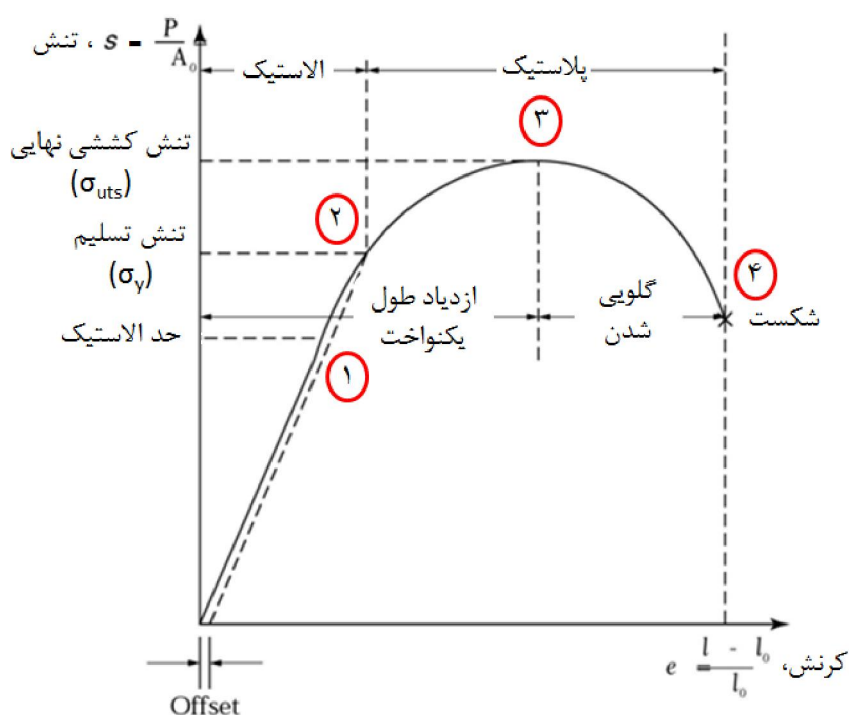
۱. شروع آزمون، بدون بارگذاری؛
۲. ازدیاد طول یکنواخت و کاهش سطح مقطع؛
۳. ادامه ازدیاد طول، رسیدن به حداکثر نیرو؛
۴. شروع گلویی شدن، شروع کاهش نیرو؛ و
۵. شکست.
۶. اگر تکه ها روی هم قرار داده شوند (مانند مرحله ۶) طول نهایی قابل اندازه گیری خواهد بود.



شکل ۵.۱۰: مراحل تغییر طول نمونه در حین آزمون کشش.

با توجه به داده های حاصل از نتایج آزمون کشش نمودارهای تنش-کرنش رسم می گردد. خواصی که به وسیله آزمون کشش با توجه به دیاگرام تنش-کرنش (شکل ۱۰.۶) تعیین می شوند عبارتند از:

- حد الاستیک (شماره ۱) : در زیر این حد تنش ماده رفتار کاملاً کشسان از خود نشان می دهد. در این حالت ماده هیچ گونه تغییر شکل پلاستیکی از خود نشان نمی دهد و کاملاً از قانون هوک ($\sigma = E\varepsilon$) تبعیت می کند و در هنگام باربرداری نیز این مواد کاملاً به حالت اولیه خود باز می گردند.
- استحکام تسلیم (شماره ۲) : استحکام تسلیم یا تنش تسلیم (Yield Stress) به میزان تنشی گفته می شود که باعث آغاز تغییر فرم پلاستیک یا شارش ماده می شود. این میزان تا حد زیادی به دقت و قرارداد اندازه گیری آن وابسته است.
- استحکام کششی نهایی (شماره ۳) : حداکثر تنشی است که جسم می تواند تحمل نماید بدون آنکه در آن تغییر شکل غیر یکنواخت که منجر به شکست می شود اتفاق بیفتد.
- استحکام شکست (شماره ۴) : حداکثر تنش کششی (هر کدام که باعث شکست می شود) است که ماده قبل از شکست می تواند تحمل کند. در یک ماده سخت و شکننده ممکن است استحکام شکست و استحکام نهایی بر هم منطبق شوند.



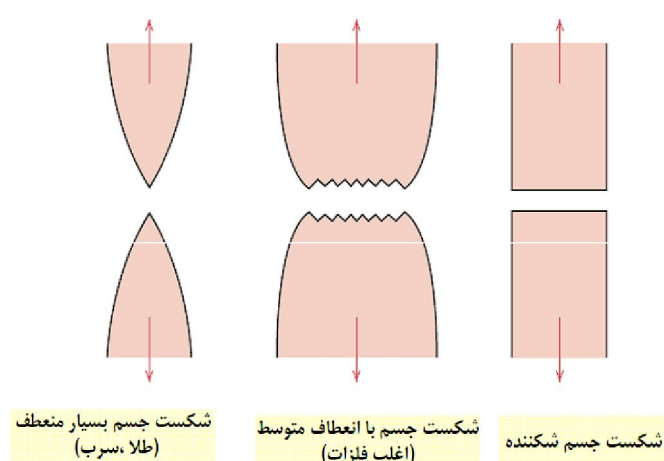
شکل ۱۰.۶: نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون کشش.

رفتار مواد در حین شکست متفاوت است و از نظر انعطاف پذیری می توان آن را به سه دسته عمده تقسیم بندی نمود (شکل ۱۰.۷) :

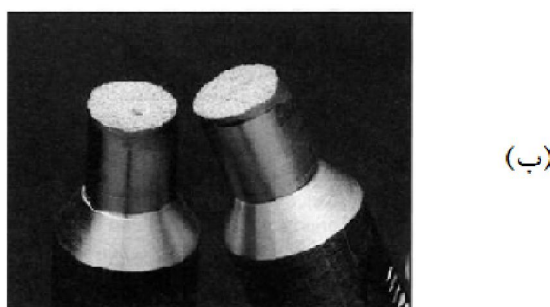
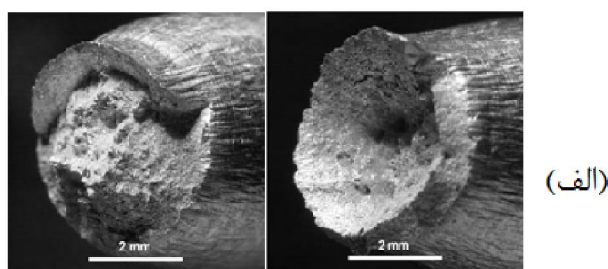
۱. مواد بسیار منعطف که گلولی شدن در آن‌ها تا آنجا ادامه می‌یابد و نازک می‌شوند که در نهایت در یک نقطه دچار پارگی می‌شوند.

۲. مواد با انعطاف متوسط که کرنش متوسطی از خود نشان می‌دهند و شکست آن‌ها به صورت سطحی خواهد بود. سطح شکست در این نوع مواد به صورت نرم و به شکل کاسه-مخروط می‌باشد (شکل ۱۰.۸-الف).

۳. مواد شکننده یا ترد که کرنش کمی از خود نشان داده و سطح شکست در آن‌ها به صورت تورقی و صاف می‌باشد (شکل ۱۰.۸-ب).



شکل ۱۰.۷: رفتار مواد در زمان شکست.

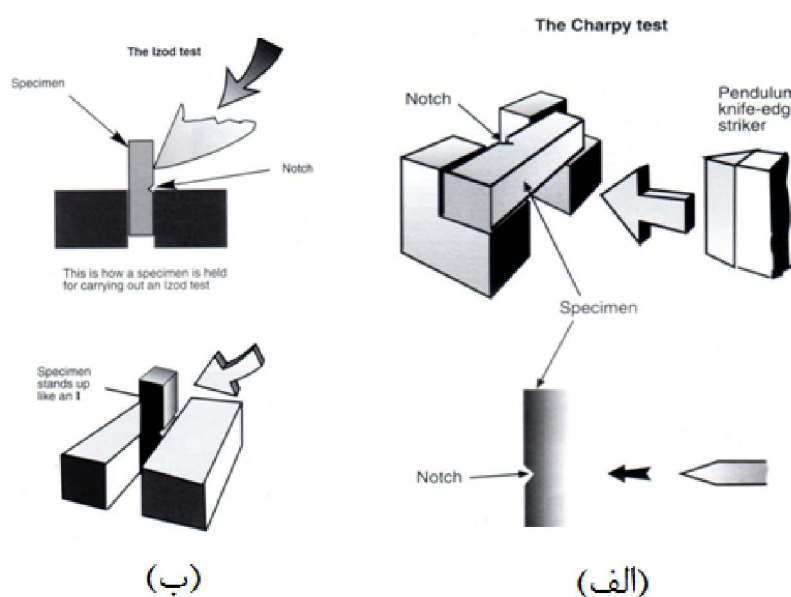


شکل ۱۰.۸: (الف) شکست نرم؛ (ب) شکست ترد.

۱۰.۳.۳. چقرمگی شکست

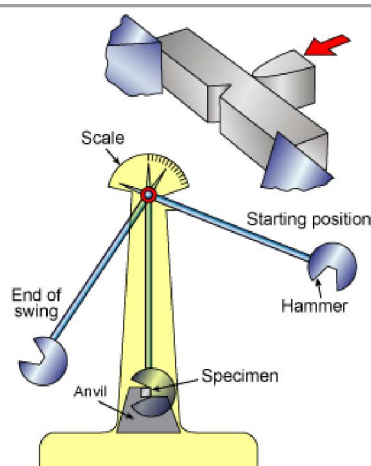
یکی از مسایل مهم در صنعت که باعث خسارت زیادی می‌شود، شکستن قطعات بر اثر تردی جنس آن‌ها در برابر بار ضربه ای می‌باشد. هر چه انرژی لازم برای شکستن فلز زیادت‌ر باشد فلز نرم‌تر (چقرمه تر)، و بر عکس هر چه انرژی لازم کمتر باشد، فلز تردتر است.

انرژی بر واحد حجم که می‌تواند تا نقطه شکست توسط نمونه جذب شود را چقرمگی (تافنس) گویند، به عبارتی دیگر چقرمگی توانایی ماده در جذب انرژی ضربه بدون شکسته شدن است. قطعاتی که در معرض ضربه با بار شوک مانند هستند نیاز دارند که چقرمگی خوبی داشته باشند. آزمون ضربه چارپی (Charpy) و آزمون ایزود (Izod) دو آزمونی هستند که می‌توانند برای مقایسه چقرمگی مواد مورد استفاده قرار گیرند. اساس این دو آزمون یکسان است و همان طور که در شکل ۱۰.۹ نشان داده شده است نحوه قرار گیری نمونه در آن‌ها متفاوت است.



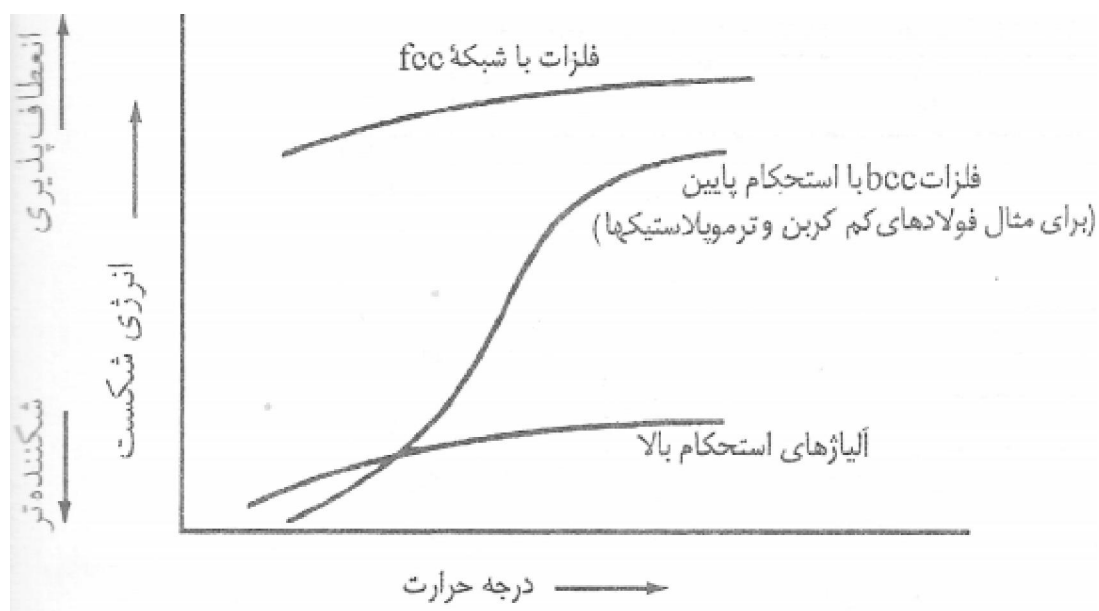
شکل ۹.۱۰: (الف) آزمون چارپی؛ (ب) آزمون ایزود.

آزمون ضربه چارپی (*Charpy impact test*) یکی از روش‌های استاندارد برای تعیین انرژی شکست (چقرمگی) مواد فلزی است. در این آزمون با استفاده از نمونه‌های فاق‌دار شرایط تنش سه‌بعدی را در نمونه ایجاد کرده و قابلیت تغییر شکل پلاستیک را در آن محدود می‌کنند. در این آزمون، مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه در هنگام شکست از میزان اختلاف ارتفاع اولیه و ثانویه آونگ بدست می‌آید. این میزان انرژی معیاری از چقرمگی مواد است.



شکل ۱۰.۱۰: آزمون ضربه چارپی.

یکی از عوامل مهم در این آزمون دمای انجام آن است. زیرا که رفتار مواد در برابر ضربه با تغییر درجه حرارت تغییر می‌کند. به طوری که برای برخی از مواد می‌توان دمای تبدیل از حالت شکست نرم به شکست ترد (DBTT) تعریف نمود. این دما به ویژه برای مواد با ساختار کریستالی bcc قابل توجه است. در شکل اثر تغییر دما بر روی چقرمگی مواد نشان داده شده است.

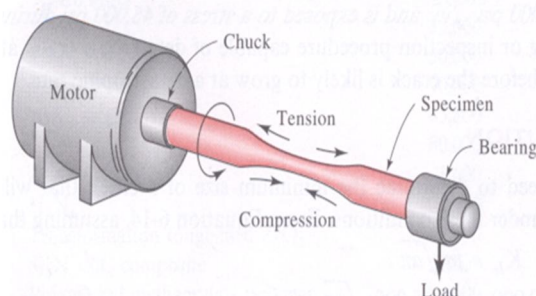


شکل ۱۱.۱۰: تأثیر درجه حرارت بر چقرمگی مواد مختلف.

۱۰.۳.۴. خستگی (Fatigue)

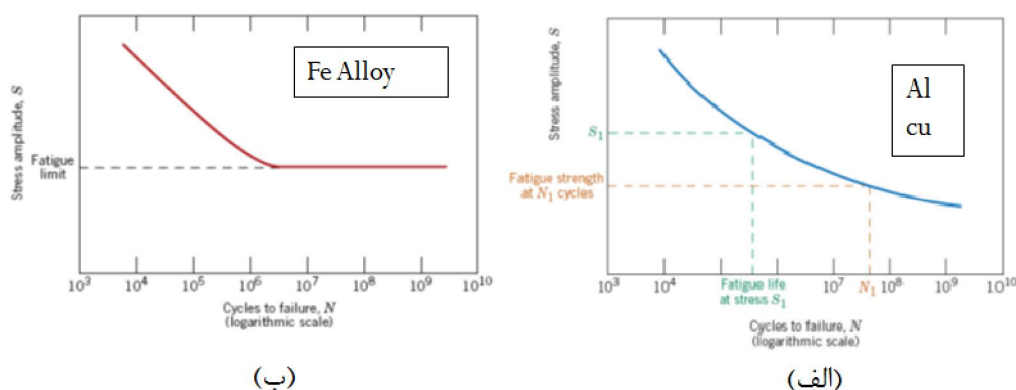
پدیده ای را که در نتیجه تنش‌های متناوب در جسم ایجاد گشته و به شکست آن می‌انجامد، خستگی و یا فرسودگی نامیده می‌شود. اصطلاح خستگی به این خاطر استفاده می‌شود که در این حالت تخریب بعد از تعداد نوسانات طولانی (یا نسبتاً طولانی) نیروی اعمالی صورت می‌گیرد و بنابراین ممکن است مدت زمانی

طول بکشد تا قطعه بشکند. (با گذشت زمان قطعه خسته شده و می‌شکند) هر چه تعداد تناوب تنش‌های وارده بیشتر باشد، تنش شکست آن کوچک‌تر است. تنش‌های متناوب می‌تواند ناشی از چرخش، خمش یا ارتعاش باشد.



شکل ۱۲.۱۰: شماتیک از دستگاه آزمون خستگی

حداکثر تنشی را که قطعه ای از ماده معین بتواند به ازای آن تعداد دور فوق‌العاده زیادی را بدون اینکه بشکند تحمل کند، استحکام خستگی یا حد خستگی نامیده می‌شود. برخی از مواد حد خستگی از خود نشان می‌دهند و به ازای تنش‌های کمتر از تنش حد خستگی می‌توانند برای مدت‌های طولانی به کار گرفته شوند بدون آنکه دچار شکست شوند، اما در مقابل برخی از مواد مانند Al دارای حد خستگی نمی‌باشند و به ازای طی کردن هر سیکل می‌توان انتظار داشت که حتی در تنش‌های کم نیز دچار شکست شوند.



شکل ۱۳.۱۰: (الف) نمودار خستگی بدون حد خستگی؛ (ب) نمودار خستگی دارای حد خستگی.

خستگی به طور معمول همراه با جوانه‌زنی ترک در سطح قطعه یا نواحی تمرکز تنش و اشاعه آن در ناحیه تحت تنش بیشینه است. بنابراین عوامل موثر بر عمر خستگی عبارتند از:

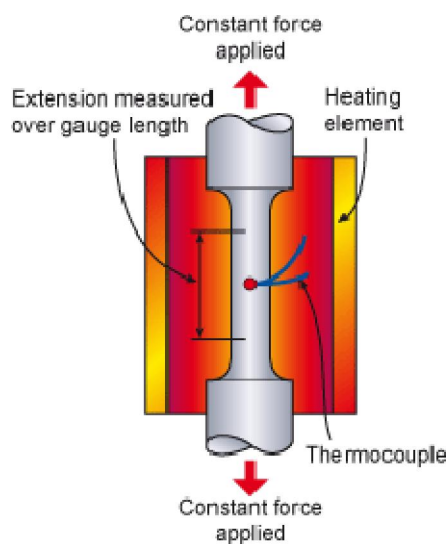
۱- تنش متوسط اعمالی: افزایش تنش متوسط اعمالی باعث کاهش عمر خستگی می‌شود.

۲- عوامل طراحی: وجود نقاطی که باعث تمرکز تنش شود عمر خستگی را کاهش می‌دهد.

۳- عملیات سطحی: در سطح قطعه معمولاً ترک وجود دارد که می‌تواند به علل گوناگون باشد مثل ترک‌های حاصل از برش- ماشین کاری - خراش ایجاد شده در اثر تماس با محیط و... . ترک‌هایی که روی سطح ایجاد می‌شود باعث کاهش عمر خستگی می‌شود. انجام پولیش روی سطح باعث افزایش عمر خستگی می‌شود.

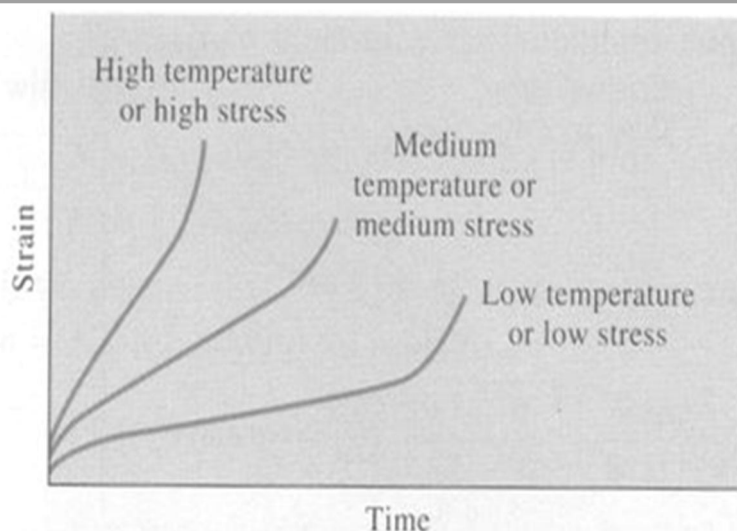
۱۰.۳.۵. خزش (Creep)

چنانچه نمونه ای در درجه حرارت‌های بالا تحت تأثیر تنش کششی ثابتی قرار گیرد، اگرچه این تنش کمتر از حد تسلیم باشد، پس از گذشت مدت زمانی تغییر شکل بر جای ماندنی در آن ایجاد می‌شود. این پدیده را خزش گویند. خزش با افزایش دما افزایش می‌یابد. به طور کلی خزش تابعی پیچیده از تنش، زمان، دما، اندازه و شکل دانه، ریز ساختار، کسر حجمی و ویسکوزیته فاز شیشه‌ای در مرز دانه‌ها، تحرک نابجایی‌ها و ... می‌باشد. پدیده خزش در تمامی قطعاتی که در درجه حرارت‌های بالا کار می‌کنند از قبیل، موتورهای احتراقی، پره های توربین‌های بخاری و گازی، لوله های انتقال بخار، رآکتورهای هسته ای و ... به وجود می‌آید. پدیده خزش در سرامیک‌ها بسیار مهم‌تر از فلزات است، چرا که کاربردهای دما بالا در سرامیک‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۱۴.۱۰: آزمون خزش.

آزمون خزش با بکار بردن یک نمونه تحت بار ثابت و مشاهده افزایش کرنش (تغییر شکل) با زمان صورت می‌گیرد. این آزمون معمولاً به صورت کششی انجام می‌شود و نمونه های تست نیز دارای شکلی مشابه نمونه های تست کشش هستند. در این آزمون از یک وسیله بسیار دقیق اندازه گیری طول و یک وسیله گرم کردن نمونه در شرایط کاملاً کنترل شده استفاده می‌شود. نتایج آزمون به صورت یک منحنی زمان-کرنش رسم می‌شود (شکل ۱۰.۱۵).



شکل ۱۵.۱۰: نمودار آزمون خزش و نتیجه شرایط آزمون بر نتایج پدیده خزش.

نمودار زمان- کرنش رفتار خزش دارای سه مرحله است که در مرحله اول خزش با نرخ زیاد شروع و با گذشت زمان از شدت آن کاسته می‌شود. در مرحله دوم یک نرخ نسبتاً یکنواختی وجود دارد؛ و در مرحله سوم دوباره نرخ خزش سرعت تسریع می‌شود تا زمانی که قطعه دچار شکست شود. با تغییر دما یا تنش اعمالی رفتار خزشی ماده تغییر می‌کند.

۱۱. روش‌های شکل دادن مواد

به هر طرف که نگاه کنید قطعاتی مشابه را خواهید دید. قطعات و اتصالات روشنایی، رادیاتورها، وسایل آشپزخانه یا لوازم منزل. هر اتومبیل از صدها قطعه تشکیل شده است. این فهرست را می‌توان مرتباً ادامه داد. قطعات رادیو و تلویزیون - همین طور موشک‌ها - هواپیماها - قطارها و... را می‌توان به آن‌ها اضافه کرد. کلیه قطعاتی که در ساخت و تزئین ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ و حتی سازه‌های عظیم فولادی و غیره و در کل آنچه از مصنوعات بشری که به چشم می‌آیند همه و همه به کمک روش‌های ساخت و تولید مبتنی بر تکنولوژی و علم نوین ساخته و تولید شده‌اند.

همه‌ی موارد فوق از تغییر مواد خام مختلف سرهم شدن آن‌ها طی فرایندهای متفاوتی که آن‌ها را ساخت می‌نامیم بدست آمده‌اند. پس به طور کلی فرایندهای ساخت را می‌توان به عنوان یک روش سازمان داده شده مناسب برای تبدیل ماده خام اولیه به محصول نهایی تعریف نمود.

فرایندهای ساخت مواد را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی نمود:

▪ فرایندهای ساخت اولیه

- ریخته گری
- قالب گیری
- فرآیند شکل دادن
- روش‌های پودری
- روش‌های خاص

▪ فرایندهای ساخت ثانویه

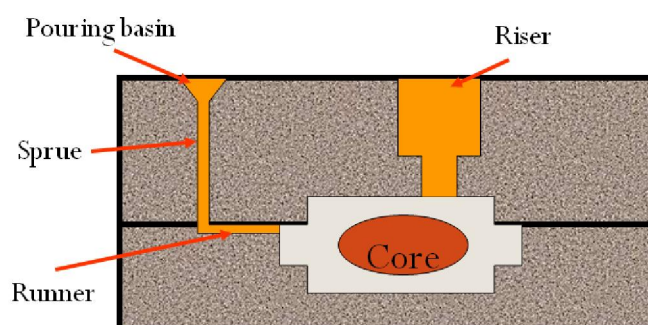
- ماشین کاری
- عملیات حرارتی
- اتصال
- پرداخت کاری

- فرایندهای اولیه

۱۱.۱. ریخته‌گری

ریخته‌گری فن شکل دادن فلزات و آلیاژها از طریق ذوب، ریختن مذاب در محفظه‌ای به نام قالب و آنگاه سرد کردن و انجماد آن مطابق شکل محفظه قالب می‌باشد. این روش قدیمی‌ترین فرآیند شناخته شده برای بدست آوردن شکل مطلوب فلزات است. این فن از اساسی‌ترین روش‌های تولید می‌باشد. به دلیل اینکه بیشتر از ۵۰ درصد از قطعات انواع ماشین آلات به این طریق تهیه می‌شوند. فلزاتی که خاصیت پلاستیک کمی دارند با قطعاتی که دارای اشکال پیچیده هستند، به روش ریخته‌گری شکل داده می‌شوند.

از دیدگاه نوع قالب روش‌های ریخته‌گری به دو دسته تقسیم می‌شوند: ریخته‌گری در قالب‌های تکبار (Expendable Molds) و در قالب‌های دائمی (Permanent Molds). اما ریخته‌گری با توجه به تکنولوژی و مجموعه تجهیزاتی که در قالب‌گیری دخیل هستند شامل موارد زیر می‌شود: ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای، ریخته‌گری به روش ریژه (قالب‌های فلزی)، ریخته‌گری در قالب فلزی و با فشار کم، ریخته‌گری در قالب فلزی و با فشار بالا، دیزاماتیک، ریخته‌گری دقیق، ریخته‌گری در قالب‌های کوبشی و غیره. هر یک از موارد فوق دارای کاربردی است، که با توجه به میزان تولید قطعه، کیفیت مورد نظر آن، ابعاد و جنس قالب، از هر یک از این روش‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱۱.۱: نمونه ای از یک قالب ماسه‌ای.

۱۱.۲. قالب‌گیری

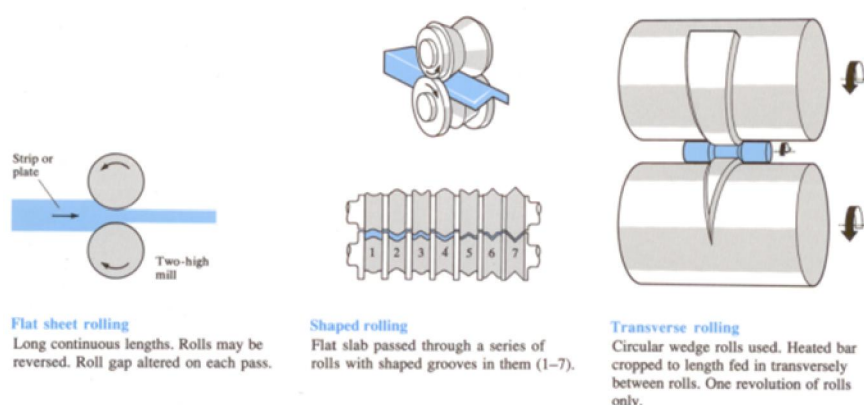
این فرآیند روشی از فرایندهای ساخت است که در آن ماده خام انعطاف پذیر با استفاده از یک قالب سخت و یا یک قالب شکل داده می‌شود. در این روش قالب توخالی با یک مایع از ماده خام اولیه پلیمری، شیشه‌ای، فلزی و یا سرامیکی پر می‌شود و در نهایت با سخت شدن مایع و یا جمع شدن درون قالب، شکل می‌گیرند. این روش هم ارز ریخته‌گری است. تزریق پلاستیک یک نمونه از این فرآیند است.

۱۱.۳. شکل دادن

فرآیندهای شکل دادن شامل اندر کنش یک قطعه کار با برخی ابزار برای ایجاد تغییری در شکل آن بر پایه توانایی ماده برای سیلان پلاستیک در حالت جامد هستند. فرآیندهای شکل دادن بسیاری وجود دارد که در زیر برخی از آنها معرفی می‌شوند.

۱۱.۳.۱. نورد

نورد یکی از روش‌های شکل‌دهی مواد دارای قابلیت تغییر شکل پلاستیک است. هدف نورد عبارت است از تغییر فرم شمش به مقاطع مورد نظر می‌باشد. به طور کلی نورد به دو صورت گرم و سرد وجود دارد. در دماهای پایین و نزدیک دمای اتاق تنها فلزات و برخی از پلیمرها قابلیت تغییر شکل پلاستیک مناسب از خود نشان می‌دهند. برای افزایش این قابلیت و همچنین شکل‌دهی موادی که در دماهای پایین نورد آن‌ها امکان پذیر نیست، از نورد گرم استفاده می‌شود.



شکل ۲.۱۱: انواع فرآیندهای نورد.

۱۱.۳.۲. آهنگری/فورج

در این فرآیند، فلز با چکش‌کاری یا پرس کردن به شکل مطلوب درمی‌آید. در آهنگری فشار به صورت ضربه‌ای وارد می‌شود. انواع تقسیم بندی فرآیند آهنگری عبارتند از:

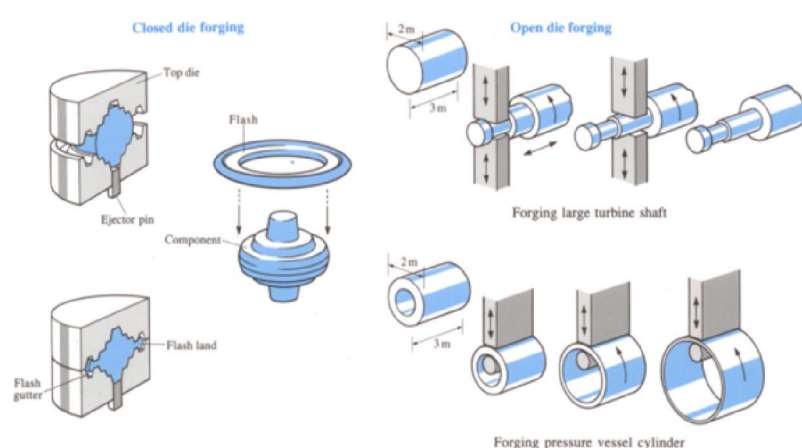
- از لحاظ دمای آهنگری
 - آهنگری سرد (کار سرد)
 - آهنگری گرم (کار گرم)
- از لحاظ اعمال نیرو
 - آهنگری چکشی: در این روش یک چکش به طور سریع و مداوم ضربه‌هایی را به سطح فلز وارد می‌کند.

■ آهنگری پرسی: در این روش توسط یک دستگاه پرس، نیرو در یک مرحله و به صورت آهسته اعمال می‌شود.

• از لحاظ نوع قالب

■ آهنگری با قالب باز

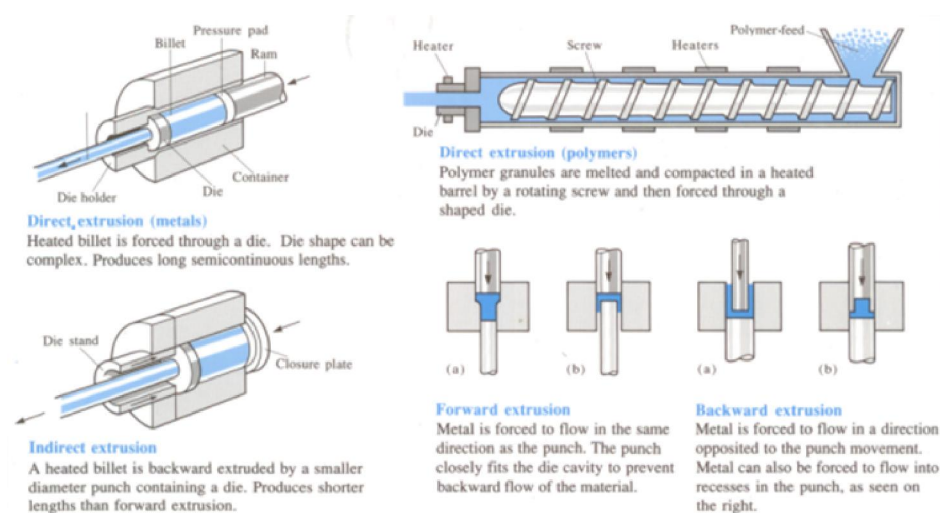
■ آهنگری با قالب بسته



شکل ۳.۱۱: فرایند آهنگری قالب باز و قالب بسته.

۱۱.۳.۳ اکستروژن

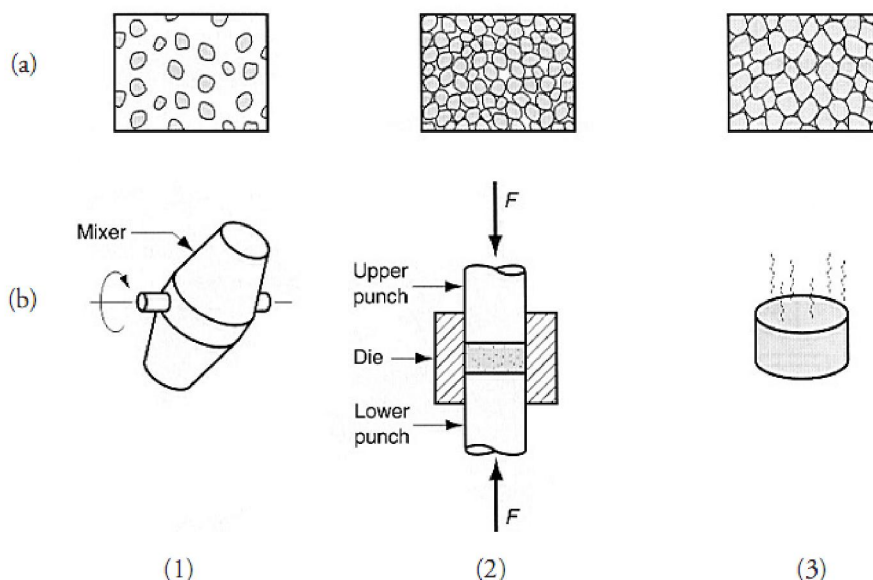
اکستروژن یکی از روش‌های شکل دهی شمش‌ها یا فلزات نیم ساخته است که برای کاهش ضخامت یا سطح مقطع این مواد به کار می‌رود. در این دستگاه از پیستونی قوی جهت اعمال بار یکنواخت بر قطعه مورد نظر و پرس کردن و فشار دادن آن در بدنه دستگاه استفاده می‌شود.



شکل ۴.۱۱: انواع فرآیندهای اکستروژن.

۱۱.۴. متالورژی پودر

در این روش ابتدا ماده مورد نظر را به صورت پودر در می آورند تا سطح ویژه آن بیشتر شود. سپس پودر حاصل را به شکل دلخواه پرس کرده و در کوره می گذارند. دمای کوره تا حدی بالا می رود که قطعه ذوب نمی شود. در دماهای بالاتر دامنه نوسان اتم ها بیشتر بوده و بنابراین نفوذ اتمی بیشتر می شود. اتم های ذرات مجاور در یکدیگر نفوذ کرده و ذرات را به هم می چسبانند. این مرحله را تف جوش یا سینترینگ گویند.



شکل ۱۱.۵: متالورژی پودر: ۱. مرحله تولید پودر، ۲. مرحله پرس کردن پودر، ۳. مرحله تف جوشی یا سینترینگ.

- فرایندهای ثانویه

۱۱.۵. ماشین کاری

ماشین کاری شکل دادن مواد با تراش و برش به وسیله ماشین های ابزار است. در ماشین کاری قطعات بر حسب نوع کار از ماشین های تراش، فرز، مته صفحه تراش، کله زنی، سنگ زنی، تیز کاری و سوراخ کن استفاده می شود که معمولاً این قطعات خود محصول فرآیندهای ریخته گری، آهنگری، نورد و غیره می باشند.

پارامتر مهم در این فرآیند قابلیت ماشین کاری (Machinability) ماده مورد نظر است. قابلیت ماشین کاری را می توان به صورت، سادگی در ایجاد تغییر فرم، توانایی برای رسیدن به یک سطح صاف، عمر ابزار طولانی تعریف نمود. بر این اساس، فلزات معمولاً دارای قابلیت ماشین کاری خوبی هستند؛ پلیمرها به راحتی ماشین کاری می شوند ولی تفرانس ابعادی آنها کم است. ولی سرامیک ها به سختی ماشین کاری می شوند و باعث کاهش عمر ابزار می شوند و در نتیجه هزینه های ماشین کاری را افزایش می دهند.

۱۱.۶. عملیات حرارتی

گرم کردن و سرد کردن زمان بندی شده فلزات، سرامیک‌ها و آلیاژها را به منظور بدست آوردن خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب، عملیات حرارتی می‌نامند. عملیات حرارتی برای مواد غیر فلزی مانند شیشه‌ها و شیشه-سرامیک‌ها نیز بکار می‌رود.

دلایلی که باعث انجام عملیات حرارتی می‌شوند به شرح زیر است:

- تنش‌زدایی، جهت کاهش تنش‌های ناشی از عملیات و فرایندهای تولید
- افزایش مقاومت به ساییش با ایجاد لایه سخت بر سطح و در عین حال افزایش مقاومت به ضربه با به وجود آوردن مرکز نرم‌تر در داخل قطعه
- بهبود خواص فولاد به منظور اقتصادی کردن جایگزینی بعضی از انواع ارزان‌تر فولاد به جای انواع گران آن
- افزایش جذب انرژی ضربه فولاد
- بهبود انعطاف پذیری و چکش خواری
- افزایش سختی
- بهبود قابلیت ماشین کاری شدن

۱۱.۷. اتصال

روش‌های اتصال را می‌توان به سه دسته اتصال دائم، اتصال نیمه دائم و اتصالات موقت تقسیم بندی نمود.

۱. اتصال دائم

- جوشکاری یکی از فرآیندهای اتصال دائمی قطعات (فلزی یا غیر فلزی)، به روش ذوبی یا غیر ذوبی، با به‌کارگیری یا بدون به‌کارگیری فشار، با استفاده یا بدون استفاده از ماده پرکننده می‌باشد. هدف آن اتصال دائمی مواد مهندسی (فلز، سرامیک، پلیمر، کامپوزیت) به یکدیگر است؛ به گونه‌ای که خواص اتصال برابر با خواص ماده پایه باشد. فرآیندهای جوشکاری به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: فرآیندهای جوشکاری ذوبی و فرآیندهای جوشکاری غیر ذوبی.
- لحیم کاری یکی از روش‌های اتصال دهی فلزات است که به وسیله یک فلز پرکننده که تا بالای نقطه ذوب خود حرارت داده شده است و فضای بین دو یا چند قطعه ای که در کنار هم قرار داده شده‌اند را به دلیل خاصیت موئینگی پر می‌کند و سبب اتصال آن‌ها می‌شود. لحیم کاری به دو دسته لحیم کاری سخت و نرم تقسیم بندی می‌شود که این تقسیم بندی به دمای ذوب ماده پرکننده بر می‌گردد.

۲. اتصال نیمه دائم

- این روش شامل چسباندن مواد به یکدیگر با استفاده از مواد چسبی می‌شود.

۳. اتصال موقت

این روش شامل استفاده از پیچ و مهره، پرچ و یا بست برای اتصال دو قطعه می‌باشد.

۱۱.۸. پرداخت کاری

این فرآیند عملیاتی را شامل می‌گردد که بر روی سطح قطعه و یا برای نصب و مونتاژ آن اعمال می‌شود. مانند پولیش کردن، آبکاری کردن، آندایزینگ و یا رنگ کردن.