

۱- حضور و غیاب

۲- پیش آزمون از جلسه‌های قبل (به صورت شفاهی، کتبی، پاسخ کوتاه، و غیره)

۳- یادآوری مطالب درس جلسات گذشته مرتبط با موضوع درس این جلسه

موضوع: طبیعت و ساختمان فلزات

برای درک بهتر مفاهیم و آماده شدن ذهن هنرجویان ابتدا چندین سوال ساده، در ارتباط با موضوع درس

این جلسه به صورت پرسش و پاسخ مطرح گردد.

۱- مواد در طبیعت به چند حالت وجود دارند.

۲- نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در حالت‌های جامد، مایع و گاز چگونه است.

۳- به نظر شما اتم‌ها در حالت جامد حرکت دارند؟ چگونه؟

۴- آیا نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در فلزات منظم است؟

- پس از شنیدن جواب سؤالات ارائه شده توسط هنرجویان وارد موضوع بحث این جلسه شوید.

برای این که بتوان نحوه انجماد فلزات را مورد بررسی قرار داد، ابتدا باید آشنایی لازم در ارتباط با ساختار

اتمی در حالت‌های مایع و جامد فلزات به دست آورد و نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در ساختمان فلزات جامد را مشخص

نمود. به این منظور در ابتدا به طبیعت و ساختمان فلزات پرداخته می‌شود.

۱-۳- طبیعت و ساختمان فلزات

برای آشنایی و فهم بهتر ساختمان فلزات، ابتدا بهتر است ساختار حالت‌های مختلف مواد را که شامل جامد،

مایع و گاز می‌باشد، بررسی نمود. بهترین مثال برای این مورد آب می‌باشد که در دماهای مختلف سه حالت جامد،

مایع و گاز را از خود نشان می‌دهد. به طوری که در دمای زیر صفر به صورت جامد یا یخ، در دمای بین صفر و صد

درجه سانتی‌گراد به صورت مایع یا آب و در دمای بالاتر از صد درجه سلسیوس به صورت گاز یا بخار می‌باشد.

یخ از لحاظ ظاهری دارای شکل و حجم مشخصی می‌باشد و استحکام (مقاومت در برابر نیرو) کمی دارد. اما

آب که به صورت مایع می‌باشد. شکل مشخصی از خود ندارد و معمولاً شکل ظرفی که در آن قرار دارد را به خود

می‌گیرد. هم‌چنین آب دارای حجم معینی است و استحکام آن نسبت به یخ پایین‌تر است. بخار آب که به شکل

گاز می‌باشد، شکل و حجم مشخصی ندارد. این رویه برای مواد دیگر نیز صادق می‌باشد.

به طور کلی، مواد به سه حالت جامد، مایع و گاز در طبیعت وجود دارند. مواد جامد دارای شکل و حجم مشخص می باشد. مواد مایع دارای حجم مشخصی می باشند اما شکل مشخصی ندارند. مواد گازی نه حجم مشخصی دارند و نه شکل مشخصی. علت این وضعیت مواد به ساختمان داخلی آن‌ها ارتباط می یابد؛ در حقیقت به نحوه قرار گرفتن اتم‌ها نسبت به یکدیگر در هر حالت ماده بستگی دارد.

مواد گازی دارای ساختمان داخلی نامنظم می باشند. به عبارت دیگر؛ در ساختمان اتمی مواد گازی، اتم‌ها جای مشخصی ندارند و به طور دائم در حال حرکت و فاصله گرفتن از یکدیگر می باشند که علت آن، نیروی جاذبه بسیار کم بین اتم‌های گاز می باشند. بنابراین اتم‌ها می توانند آزادانه به هر جهتی که بخواهند حرکت می کنند. با توجه به این پدیده اگر گازها تحت فشار قرار گیرند فاصله بین اتم‌های آن‌ها کاهش یافته و متراکم می شوند و در نتیجه شکل ظرف را می گیرند.

در ساختمان داخلی مایعات، فاصله بین اتم‌های مایع از گاز بسیار کمتر است. بنابراین هنگامی که مایع تحت فشار قرار می گیرد به دلیل فاصله کم بین اتم‌های آن متراکم نمی شود. با توجه به فاصله کم اتم‌ها در مایعات نیروی جاذبه بین اتم‌ها نسبت به گازها بیشتر است. در نتیجه، اتم‌ها و مولکول‌های مایعات در حین حرکت فاصله خود را حفظ نموده و هم‌چنان شکل ظرف را به خود می گیرند. اما در جامدات، فاصله بین اتم‌ها مانند مایعات کم می باشد، ولی نیروی جاذبه بین اتم‌ها به قدری زیاد می باشد که اتم‌های جامد مانند اتم‌های مایع نمی توانند آزادانه حرکت کنند و معمولاً در فواصل مشخص و معینی قرار می گیرند. بنابراین جامدات علاوه بر حجم مشخصی، دارای شکل مشخصی می باشند.

بنابراین می توان این گونه تعریف کرد که گازها شکلی از ماده هستند که در آن‌ها اتم‌ها با فواصل زیاد نسبت به یکدیگر قرار گرفته و نیروی جاذبه بسیاری کمی بین آن‌ها وجود دارد در نتیجه دارای شکل و حجم مشخصی نمی باشند و می توان به سادگی شکل و حجم آن‌ها را تغییر داد. مایعات شکلی از ماده هستند که نیروی بین اتم‌های آن نسبت به گازها بیشتر بوده، اما فاصله بین اتم‌ها بسیار کمتر می باشد. بنابراین، مایعات دارای حجم معینی بوده اما شکل مشخصی از خود ندارند. در نتیجه نمی توان آن‌ها را متراکم نمود و حجم آن‌ها را به سادگی تغییر داد. شکلی از ماده که فاصله بین اتم‌ها در آن بسیار کم می باشد و نیروی جاذبه بسیار قوی بین اتم‌های آن وجود دارد. جامد می باشد که با توجه به فاصله کم و جاذبه بین اتم‌های آن جامدات دارای شکل و حجم معینی می باشند. بنابراین نمی توان آن‌ها را متراکم نمود و شکل و حجم آن‌ها را به سادگی تغییر داد.

به عنوان مثال، می توان حالات مختلف یخ، آب و بخار آب را در نظر گرفت که با تغییر عواملی مانند دما و فشار خارجی می توان تغییراتی در حرکت اتم‌ها و مولکول‌ها ایجاد کرد و سبب تغییر حالت در آن‌ها شد. به طور نمونه، با کاهش دما و افزایش فشار می توان گاز را به مایع تبدیل نمود؛ در حقیقت با افزایش فشار، فاصله بین اتم‌های گاز کاهش می یابد و با کاهش دما، حرکت اتم‌ها محدود می شود، در نتیجه نیروی جاذبه بین اتم‌ها افزایش

می‌یابد و حالت ماده از گاز به مایع تغییر می‌کند. اما از بین عوامل دما و فشار، دما اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا می‌توان فقط با کاهش دما و بدون تغییر فشار، گاز را به مایع تبدیل کرد. به عنوان مثال، در مورد بخار آب می‌توان با کاهش جزئی دما، بخار آب را به مایع تبدیل کرد اما اگر بخواهیم با افزایش فشار بخار آب را تبدیل به آب نماییم بدون تغییر دما به فشار زیادی نیاز می‌باشد و برای این منظور، تجهیزات خاصی باید در نظر گرفته شود؛ اما با تغییر دما بدون نیاز به تجهیزات خاصی می‌توان بخار آب را به آب تبدیل نمود.

با کاهش دما، می‌توان مایع را به جامد تبدیل کرد؛ به‌طور مثال با کاهش دما و رساندن دما به زیر صفر درجه سلسیوس می‌توان آب را به یخ (جامد) تبدیل نمود؛ اما اگر بخواهیم آب را با افزایش فشار به یخ تبدیل نماییم نیاز به فشارهای بسیار زیادی می‌باشد که از نظر عملی با مشکلات بسیار زیادی همراه است بنابراین عامل دما نسبت به فشار از اهمیت و حساسیت بیشتری برخوردار است.

با توجه به مطالب گفته شده، هر اتم در ماده جامد دارای موقعیت مشخص و معینی نسبت به اتم‌های دیگر می‌باشد. بنابراین اتم‌ها در جامد به‌طور منظم در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. به این نوع نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در مواد جامد شبکه کریستالی گفته می‌شود. معمولاً اتم‌ها در فلزات به‌طور منظم در موقعیت‌های مشخص و معینی نسبت به یکدیگر قرار می‌گیرند. بنابراین فلزات دارای ساختار کریستالی می‌باشند. اما در بسیاری از غیرفلزات، اتم‌ها در حالت جامد نظم و ترتیب مشخصی نداشته و در موقعیت‌های مشخص و معین نسبت به اتم‌های دیگر قرار نگرفته‌اند. این نوع مواد جامد ساختار کریستالی ندارند و به اصطلاح به آن‌ها مواد آمورف یا بی‌شکل گفته می‌شود. شیشه‌ها و پلاستیک‌ها، مثال‌هایی از مواد آمورف می‌باشند.

برای تشخیص ماده آمورف از کریستالی، باید ساختمان اتمی ماده را مورد مطالعه قرار داد. مطالعه ساختمان اتمی مواد با استفاده از میکروسکوپ‌های با بزرگنمایی بسیار بالا؛ مانند میکروسکوپ‌های الکترونی، امکان‌پذیر است.

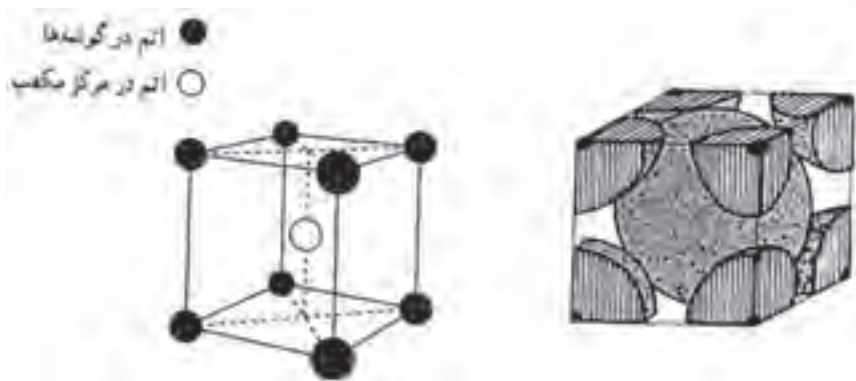
معمولاً اتم‌ها در ساختار کریستالی در محل‌های مشخصی نسبت به اتم‌های دیگر قرار گرفته‌اند و نیروی جاذبه زیادی بین آن‌ها وجود دارد. اما اتم‌ها در ساختار کریستالی فلز ثابت نمی‌باشند و دارای حرکت ارتعاشی زیادی هستند این ارتعاشات حول یک نقطه معین و ثابت انجام می‌شود. گرچه اتم‌های فلز در محل‌های خود دارای ارتعاش می‌باشد. اما در شرایط خاصی این اتم‌ها می‌توانند از یک فلز به فلز دیگر منتقل شوند. عواملی مانند دما و زمان مؤثر بر این شرایط هستند. به‌طوری که در دماهای بالا و زمان‌های طولانی امکان حرکت، اتم‌ها از یک فلز به فلز دیگر بیشتر خواهد بود. به‌طور کلی، به حرکت و انتقال اتم‌ها از یک فلز به فلز دیگر، دیفوزیون (نفوذ) گفته می‌شود.

برای نشان دادن پدیده نفوذ آزمایش‌های زیادی انجام شده است که به‌طور نمونه به یک مورد آن اشاره می‌شود. اگر دو قطعه فلزی غیرهم‌جنس مانند طلا و سرب را با گیره طوری به هم متصل کنیم که سطح اتصال

آن‌ها کاملاً تحت عملیات تمیزکاری قرار گرفته باشد و برای مدت زمان طولانی حدود چند سال در دمای محیط نگهداری کنیم و بعد از آن دو قطعه از هم جدا نماییم، با نمونه‌برداری از محل اتصال دو فلز و انجام آزمایش تجزیه شیمیایی روی آن، مشاهده خواهیم دید که اتم‌های هر فلز در فلز دیگری حرکت کرده و تا یک ضخامت مشخصی پیشروی نموده است. این مثال نشان‌دهنده حرکت اتم‌های یک فلز به سمت فلز دیگر است که مبین دیفوزیون (نفوذ) اتم‌های یک فلز می‌باشد.

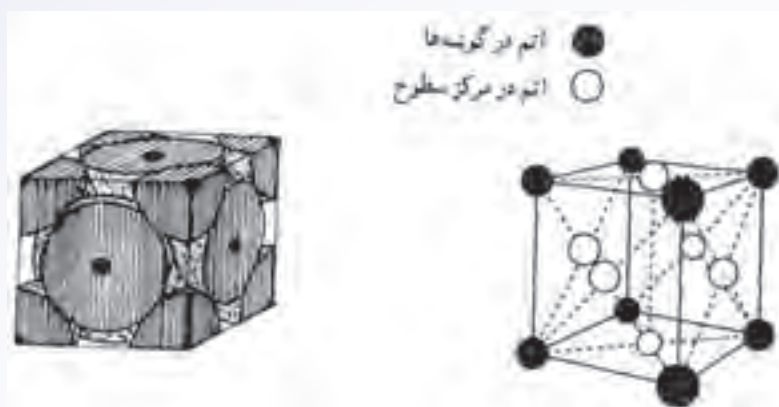
مولکول تمام فلزات موجود تک اتمی می‌باشد، به طوری که شبکه کریستالی فلزات از اتم‌های تکی فلزی تشکیل شده است، به عبارت دیگر، ساختار کریستالی فلزات از گردهم‌آیی اتم‌های تکی فلز به وجود آمده‌اند. اتم‌های مواد جامد می‌توانند در فضا و در جهت‌های X ، Y و Z انتقال یابند و یک ساختار سه‌بعدی ایجاد نمایند، طوری که این ساختمان (ساختار) متقارن باشد. به این ساختار، اصطلاحاً شبکه فضایی گفته می‌شود. البته این شبکه فضایی در فلزات و مواد کریستالی یکسان نمی‌باشد و معمولاً هر ماده شبکه مخصوصی به خود دارد. که از چهارده حالت خارج نمی‌باشد.

معمولاً در فلزات مورد استفاده سه نوع شبکه کریستالی وجود دارد. نوع اول، حالتی است که اتم‌ها طوری قرار می‌گیرند که یک مکعب را تشکیل دهند، به این صورت که چهار اتم در رئوس بالای مکعب و چهار اتم در رئوس پایین مکعب قرار می‌گیرند. همچنین در مرکز مکعب (محل تقاطع قطرهای مکعب) نیز یک اتم قرار می‌گیرد. البته این مکعب واحد شبکه فضایی یا شبکه کریستالی فلز بوده و در سه جهت در فضا ادامه یافته و شبکه کریستالی فلز را به وجود می‌آورند. این نوع شبکه کریستالی، سیستم مکعبی اتم در مرکز نامیده می‌شود و به صورت علامت اختصاری $B.C.C^1$ نشان داده می‌شود که مخفف کلمه انگلیسی مکعب با اتم در مرکز می‌باشد. در شکل ۱-۳ الف واحد شبکه BCC به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- الف

فلزاتی که دارای این نوع شبکه کریستالی می‌باشند عبارتند از: آهن الف، کروم، وانادیم حالتی دوم نیز، اتم‌های فلز تشکیل شبکه فضایی (کریستالی) می‌دهند و مانند حالت اول، شبیه مکعب است؛ به طوری که هشت اتم فلز در گوشه‌های این مکعب قرار می‌گیرد. اما علاوه بر این هشت اتم، شش اتم دیگر به ترتیب در مرکز هر کدام از سطوح مکعب که شش عدد می‌باشند قرار می‌گیرد. به این نحوه چیده شدن اتم‌ها در واحد شبکه کریستالی، شبکه مکعبی با اتم در مرکز سطوح گفته می‌شود که با علامت اختصاری $F.C.C$ نشان داده می‌شود، $F.C.C$ مخفف کلمه انگلیسی مکعب با اتم در مرکز سطوح می‌باشد. شکل ۱-۳-ب شکل شماتیک قرار گرفتن اتم‌های فلز در واحد شبکه کریستالی $F.C.C$ را نشان می‌دهد.

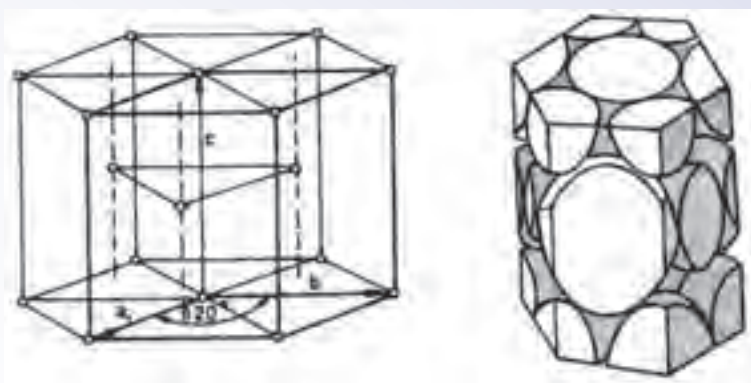


شکل ۱-۳-ب

همان طور که ملاحظه می‌شود تعداد اتم‌هایی که در واحد شبکه $F.C.C$ وجود دارد، نسبت به تعداد اتم‌های موجود در واحد شبکه $B.C.C$ بیشتر است. در نتیجه تراکم اتمی در واحد شبکه کریستالی $F.C.C$ نسبت به واحد شبکه کریستالی $B.C.C$ بیشتر است. فلزاتی که دارای شبکه $F.C.C$ می‌باشند عبارتند از: آلومینیوم، مس، سرب، آهن گاما و غیره. سومین نوع قرار گرفتن اتم‌های فلزی در واحد شبکه کریستالی به صورت شش وجهی متراکم می‌باشد در این حالت، واحد شبکه (سلول واحد) به شکل هشت وجهی منتظم می‌باشد و شش اتم در رئوس سطح بالایی و شش اتم در رئوس سطح پایینی وجود دارد. البته در مرکز هر کدام از سطوح بالایی و پایینی یک اتم فلز وجود دارد. علاوه بر این‌ها، سه اتم نیز در داخل سلول واحد وجود دارد که مطابق شکل ۲-۳، این سه اتم در میانه سلول و در امتداد خطوط که از مراکز مثلث‌های موجود در سطوح بالایی و پایینی به صورت یک در میان می‌گذرند قرار دارند. به این نوع شبکه فضایی فلز، سیستم بلوری شش وجهی متراکم گفته می‌شود که با علامت اختصاری $H.C.P$ که مخفف کلمه انگلیسی شش وجهی متراکم می‌باشد، نشان داده می‌شود.

۱- Face Centered cubic

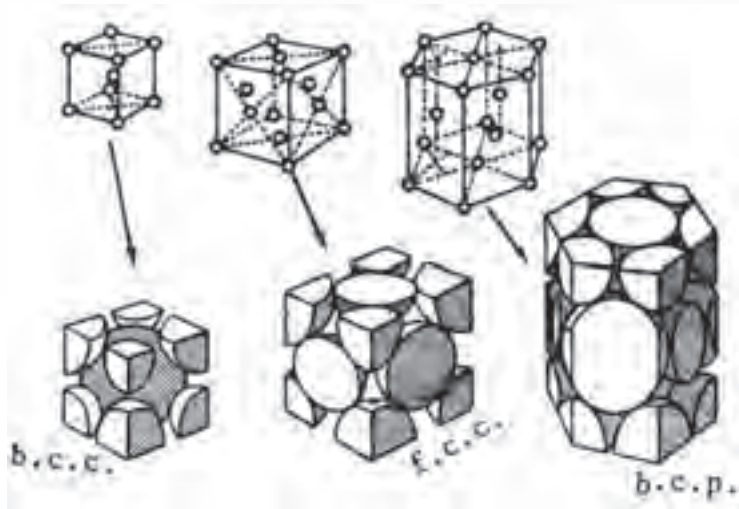
۲- Closed Packed Hexagonal



شکل ۲-۳- سلول واحد شبکه H.C.P

البته این هشتوجهی منتظم واحد شبکه کریستالی H.C.P می‌باشد که در سه جهت x, y, z در فضا تکرار شده و شبکه کریستالی H.C.P را به وجود می‌آورد. که به اصطلاح به آن سلول واحد گفته می‌شود. در مورد شبکه‌های کریستالی B.C.C و F.C.C نیز واحد شبکه کریستالی به شکل مکعب بوده که به آن‌ها نیز سلول واحد گفته می‌شود. در شکل ۳-۳ به طور شماتیک سلول واحد شبکه‌های کریستالی B.C.C، F.C.C و H.C.P که در اکثر فلزات دیده می‌شود، نشان داده شده است. ذکر این نکته لازم است که شبکه کریستالی هر کدام از تکرار سلول واحد در فضا به وجود می‌آید.

در شکل ۳-۳ انواع سه‌گانه مهم شبکه‌های کریستالی به طور شماتیک نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۳- اشکال سه‌گانه شبکه‌های فضایی فلزات

همان‌طور که ذکر شد شبکه‌های مواد کریستالی برحسب نحوه قرار گرفتن اتم‌ها، چهارده نوع می‌باشد که

به شبکه‌های چهارده‌گانه برآوه معروف هستند و با توجه به این که معمولاً فلزات دارای یکی از شبکه‌های F.C.C، B.C.C، و H.C.P می‌باشند از ذکر بقیه شبکه‌ها خودداری می‌شود.

در جدول ۱-۳ تعدادی از فلزاتی را که پس از انجماد شبکه کریستالی آن‌ها F.C.C، B.C.C، و H.C.P یا به عبارت دیگر با این سه نوع شبکه متبلور می‌شوند، نشان داده شده است.

جدول ۱-۳- شبکه کریستالی بعضی عناصر

H.C.P	B.C.C	F.C.C
Be برلیوم	Fe(α) آهن آلفا	Al آلومینیوم
Ti تیتانیوم	W تنگستن	Cu مس
Zn روی	Na سدیم	Fe(γ) آهن گاما
Zr زیرکنیم	Cr کرم	Pt پلاتین
Cd کادمیم	Li لیتیم	Pb سرب
Co کبالت	Mo مولیبدن	Au طلا
Mg منیزیم	Nb نئوبیم	Ni نیکل
	V وانادیم	Ag نقره
		Pd پالادیم

در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب هنرجویان

۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی و ...) از مطالب جلسه قبل

۳- یادآوری مطالب از جلسه قبل

موضوع:

– رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد،

– مشخصات آلیاژها و رفتار آنها در هنگام انجماد

برای درک بهتر مفاهیم بهتر است ابتدا چند سوال در رابطه با موضوع درس از هنرجویان پرسیده شود و ضمن تعامل و آماده‌سازی ذهنی هنرجویان بحث شروع شود.

۱- اگر فلز خالص به صورت مذاب درون قالب ریخته شود، انجماد از کدام قسمت قالب شروع می‌شود.

۲- انجماد فلز خالص با آلیاژ چه تفاوتی دارد.

۳- آیا سرعت انجماد در قالب برابر با سرعت انجماد تعادلی (بسیار آهسته) است.

۴- به نظر شما عناصر آلیاژی را به چه منظور به فلزات خالص اضافه می‌کنند.

۲-۳ رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد

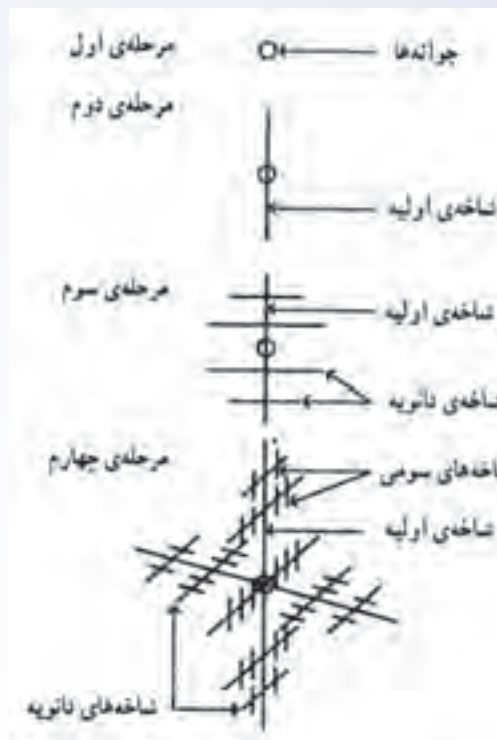
همان‌طور که قبلاً ذکر شد فلزات خالص مذاب در یک دمای معین منجمد می‌شوند و در حین انجماد، دمای آنها ثابت باقی می‌ماند برای درک بهتر این پدیده، می‌توان آب را مثال زد. آب در صفر درجه سلسیوس منجمد شده و به یخ تبدیل می‌شود. در حین انجماد آب، دمای آن (صفر درجه سلسیوس) ثابت می‌ماند تا آخرین قطره آب نیز منجمد شده و به یخ تبدیل شود.

هنگامی که فلز مذاب خالص درون قالب ریخته می‌شود، گرمای مذاب از طریق دیواره‌های قالب به بیرون انتقال می‌یابد. چون مذاب توسط دیواره‌های قالب محصور شده، مناسب‌ترین راه انتقال گرمای آن از طریق دیواره قالب می‌باشد. در بعضی از قالب‌ها، ممکن است سطح مذاب با هوا ارتباط داشته باشد که در آن صورت، انتقال

گرمای مذاب می‌تواند علاوه بر دیواره از طریق هوای اطراف سطح مذاب خارج شود. با توجه به این مطالب هرچه گرمای مذاب با سهولت بیشتری از دیواره‌های قالب خارج شود، دمای مذاب سریعتر کاهش یافته و مذاب سریعتر سرد می‌شود. از طرف دیگر، هرچه سطح تماس مذاب با هوا بیشتر باشد، به دلیل پایین بودن دمای هوای اطراف مذاب از مذاب سریعتر سرد می‌شود و دمای آن کاهش می‌یابد. ذکر این نکته لازم است که دیواره قالب و هوای اطراف سطح مذاب دمای پایین‌تری نسبت به مذاب دارند به همین دلیل دیواره قالب و هوای اطراف سطح مذاب سردتر از مذاب بوده و گرما می‌تواند از مذاب به دیواره قالب و هوای در تماس با مذاب انتقال یابد. پس نقاطی از مذاب که در تماس با دیواره قالب و هوای اطراف مذاب می‌باشند سریعتر از قسمت‌های دیگر قالب سرد شده و منجمد می‌گردد.

هنگامی که دمای مذاب کاهش می‌یابد، حرکت اتم‌های مذاب کاهش یافته و در نتیجه نیروهای دافعه بین اتم‌های فلز کاهش می‌یابد. هم‌چنین حرکات ارتعاش اتم‌ها نیز کاهش می‌یابد. علت این پدیده کاهش انرژی درونی مذاب در اثر سرد شدن می‌باشد. با کاهش حرکت اتم‌ها و نیروی دافعه بین آن‌ها اتم‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند. با ادامه سرد شدن مذاب اتم‌ها در مواضعی از مذاب تجمع کرده و ساختاری شبیه به حالت جامد فلز در ابعاد بسیار کوچک ایجاد می‌کند. با ادامه سرد شدن، اتم‌های بیشتری به این تجمع اضافه می‌شود؛ به طوری که در نهایت اولین کریستال‌های جامد در مذاب تشکیل می‌شوند. با ادامه سرد شدن مذاب، اتم‌های بیشتری به سمت کریستال‌های جامد اولیه حرکت می‌کنند و با پیوستن به هم، سبب رشد آن‌ها می‌شود. با توجه به این که این ذرات جامد در داخل مذاب قرار دارند، با کاهش دما به آسانی می‌توانند در تمام جهات رشد نمایند.

شکل ۳-۴ نحوه رشد کریستال‌های جامد اولیه در مذاب را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در مرحله اول جوانه‌های جامد، با کاهش دمای مذاب به وجود می‌آیند و با ادامه یافتن کاهش دما، این جوانه‌ها در جهت‌هایی که انتقال گرما بهتر صورت می‌گیرد، رشد می‌کنند، مانند مرحله دوم که جوانه در دو جهت، رشد نموده و شاخه‌های اولیه را ایجاد کرده است، با ادامه انجماد، شاخه‌های دیگری بر روی شاخه اولیه به وجود آمده و رشد کرده‌اند که به آن‌ها شاخه‌های ثانویه می‌گویند و معمولاً در جهت‌هایی رشد می‌کنند که انتقال گرما بهتر صورت گیرد، مانند مرحله سوم. در ادام، روی شاخه‌های ثانویه نیز شاخه‌های دیگری به وجود آمده و رشد کرده‌اند که شاخه‌های سومی نامیده می‌شود، مانند مرحله چهارم. علت به وجود آمدن این شاخه‌ها، جهت‌هایی است که در مذاب انتقال گرما بهتر و راحت‌تر صورت می‌گیرد. بنابراین در آن جهت‌ها، کریستال‌های جامد بهتر رشد می‌کنند. رشد شاخه‌ای کریستال‌های جامد در مذاب را رشد دندریتی می‌گویند.

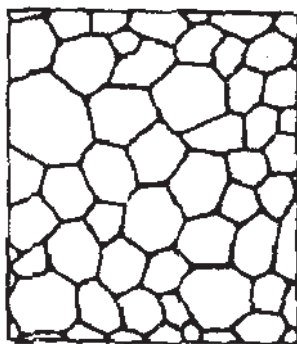


شکل ۳-۴- نمای رشد دندریتی در مذاب

با توجه به این که در هنگام انجماد مذاب، امکان تشکیل کریستال‌های جامد اولیه که به اصطلاح جوانه گفته می‌شوند، در تمام قسمت‌های مذاب وجود دارد، بنابراین تعداد قابل توجهی جوانه در شروع انجماد در قسمت‌های مختلف مذاب تشکیل می‌شود که با ادامه سرد شدن مذاب و پیوستن اتم‌ها به جوانه‌ها، این جوانه‌ها رشد کرده و بزرگ می‌شوند. بزرگ شدن این جوانه‌ها تا حدی ادامه می‌یابد که آن‌ها به هم برسند و انجماد خاتمه یابد. طوری که اگر سطح پولیش شده‌ای از این فلز جامد را در زیر میکروسکوپ مشاهده نماییم، تعداد زیادی کریستال‌های جامد دیده می‌شود که با یکدیگر برخورد کرده و مرز تشکیل داده‌اند، این کریستال‌ها به اصطلاح دانه و مرز بین آن‌ها که در اثر برخورد دانه‌ها با یکدیگر در اثر رشد آن‌ها به وجود می‌آید مرز دانه نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، در حین انجماد تعداد زیادی دانه، جوانه زده و رشد می‌کنند و رشد آن‌ها تا حدی ادامه پیدا می‌کند که دانه‌ها به هم برسند و انجماد خاتمه یابد. به طور کلی می‌توان گفت هرچه تعداد جوانه‌هایی که در مذاب تشکیل می‌شود بیشتر باشد، تعداد دانه‌ها پس از رشد جوانه‌ها بیشتر خواهد بود. بنابراین با توجه به تعداد زیاد دانه‌ها، رشد آن‌ها محدود شده و دانه‌ها ریز خواهند شد و با توجه به تعداد زیاد دانه‌ها و محل‌های برخورد آن‌ها با یکدیگر مقدار مرز دانه‌ها نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، اگر تعداد جوانه‌های تشکیل شده در شروع انجماد کمتر باشد مقدار رشد دانه‌ها بیشتر خواهد شد تا زمانی که به یکدیگر برسند. در نتیجه دانه‌ها درشت خواهند شد و مقدار مرز دانه‌ها کم

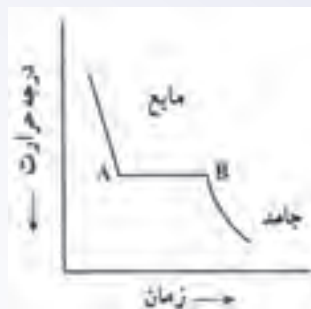
می شود.

هر کدام از ساختارهای میکروسکوپی دانه ریز و دانه درشت، با توجه به اندازه دانه‌ها و مقدار مرزدانه‌ها خواص مکانیکی متفاوتی خواهند داشت ساختمان میکروسکوپی فلزاتی که از دانه‌های ریز تشکیل شده، در دمای محیط بهترین خواص مکانیکی را دارند. بنابراین برای قطعاتی مانند قطعات اتومبیل، تراکتور که در دمای محیط استفاده می‌شوند، بهتر است. چون تعداد مرزدانه‌ها در آن‌ها زیاد خواهد بود و در مقابل، نیروهای وارد شده به آن‌ها مقاومت بهتری را از خود نشان می‌دهند. اما در مورد قطعاتی که در دماهای بالا استفاده می‌شوند مانند پره‌های توربین یا قطعات مختلف کوره، بهتر است ساختمان میکروسکوپی از دانه‌های درشت تشکیل شده باشد؛ زیرا در این ساختار تعداد مرزدانه‌ها کمتر است و در دماهای بالا هرچه تعداد مرزدانه‌ها بیشتر باشد مقاومت قطعه یا فلز در برابر نیروهای خارجی کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۵- سطح مقطع میکروسکوپی با دانه‌های ریز و درشت

برای بررسی نحوه انجماد فلزات، معمولاً از منحنی‌های سرد شدن مذاب استفاده می‌شود. انجماد فلز فرایندی است که به کاهش دما و گذشت زمان نیاز دارد. بنابراین می‌توان گفت انجماد فلز تابعی از دما و زمان می‌باشد. به همین منظور برای درک بهتر نحوه انجماد فلز از نمودارهای دما بر حسب زمان استفاده می‌شود. یعنی دمای مذاب فلز را در هنگام سرد شدن بر حسب مقدار زمان از شروع سرد شدن مذاب رسم می‌کنند. در مورد فلزات خالص، نمودار دما بر حسب زمان به صورت شکل ۳-۶ الف می‌باشد و با توجه به این که در فلزات خالص دما در حین انجماد (تبدیل از حالت مایع به جامد) ثابت می‌باشد، در نمودار پاره‌خطی به موازات محور زمان دیده می‌شود که با AB مشخص شده است. این پاره‌خط نشان دهنده شروع و خاتمه انجماد در فلز خالص می‌باشد که در دمای ثابتی صورت گرفته است. به‌طور کلی در این نمودار با گذشت زمان، دمای مذاب کاهش یافته تا به نقطه انجماد (A) رسیده و پس از اتمام انجماد در دمای ثابت، یا ادامه سرد کردن دمای جامد از دمای انجماد (B) کمتر می‌شود تا به دمای محیط برسد.



شکل ۳-۶ الف

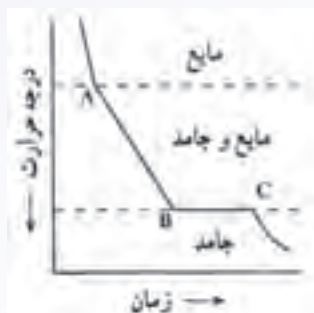
نمودار انجماد آلیاژهایی که عناصر تشکیل دهنده آن‌ها کاملاً در یکدیگر حل می‌شوند مانند شکل ۳-۶ ب می‌باشد. در ابتدا، با سرد کردن مذاب تا دمای شروع انجماد (نقطه A)، دمای مذاب با سرعت نسبتاً زیادی، کاهش می‌یابد که در نمودار، پاره‌خط ابتدایی دارای شیب زیادی می‌باشد. پس از آن با ادامه سرد شدن، مذاب آلیاژ شروع به انجماد می‌کند و در نقطه B انجماد خاتمه می‌یابد. با توجه به نمودار دمای نقاط A (شروع انجماد) با B (خاتمه انجماد) یکسان نیست و شیب پاره‌خط AB نسبت به شیب پاره‌خط ابتدایی نمودار کم‌تر است که نشان دهنده ثابت نبودن دما در حین انجماد (تبدیل مایع به جامد) در آلیاژ می‌باشند. چون تبدیل جامد به مایع در حال انجام شدن است سرعت سرد شدن مخلوط مذاب و جامد کاهش می‌یابد. بنابراین شیب پاره‌خط AB از پاره‌خط ابتدایی که مربوط به سرد شدن مذاب است کمتر خواهد بود. با ادامه سرد کردن از نقطه B، دمای جامد با سرعت بیشتری نسبت به هنگام انجماد کاهش می‌یابد، که شیب پاره‌خط انتهایی از شیب پاره‌خط AB بیشتر می‌باشد.



شکل ۳-۶ ب

در حالتی که عناصر تشکیل دهنده آلیاژ به‌طور کامل در یکدیگر محلول نباشند، یعنی حلالیت عنصر آلیاژی در فلز اصلی محدود باشد، نمودار سرد شدن انجماد مذاب به شکل ۳-۶ ج می‌باشد. با توجه به نمودار، با سرد کردن مذاب تا دمای شروع انجماد، دمای مذاب با سرعت نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد، که در نمودار، شیب پاره‌خط قبل از نقطه A نسبتاً زیاد است در نقطه A انجماد آلیاژ شروع شده و تا نقطه B انجماد آلیاژ محلول خاتمه

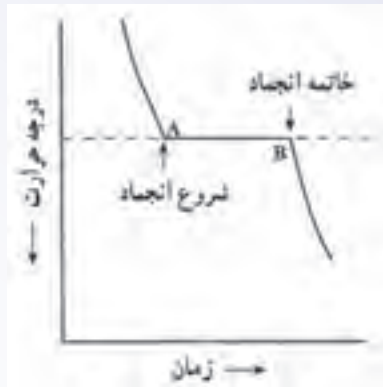
می‌یابد این مرحله سرعت سرد شدن با توجه به تبدیل حالت مایع به جامد و وجود مخلوط جامد و مایع (حالت خمیری) کاهش یافته است و شیب پاره خط AB در نمودار کمتر از شیب پاره خط قبل از نقطه A نشان داده شده است. در نقطه B انجماد آلیاژ محلول خاتمه می‌یابد؛ اما چون حلالیت عنصر آلیاژی در فلز اصلی محدود می‌باشد، باقیمانده مذاب از جنس یکی از فلزات تشکیل دهنده آلیاژ می‌باشد که به صورت خالص است. بنابراین انجماد آن در دمای ثابت صورت می‌گیرد که در نمودار به صورت پاره خط BC نشان داده شده است و موازی با محور زمان می‌باشد در نتیجه، دمای پاره خط BC ثابت است. در نقطه C انجماد خاتمه می‌یابد و با ادامه سرد کردن، دمای جامد با سرعت بیشتری نسبت به زمان انجماد تا دمای محیط کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۶ ج

فلزات خالص نسبت به آلیاژها دارای خواص ویژه‌ای می‌باشند. مثلاً قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی آن‌ها نسبت به آلیاژها بیشتر است، نقطه ذوب آن‌ها بالاتر است، قابلیت انعطاف‌پذیری آن‌ها نسبت به آلیاژها بیشتر است. اما مقاومت در برابر نیروهای خارجی یا به عبارت دیگر تنش تسلیم و تنش نهایی آن‌ها کمتر است. در مواردی نیز دارای مقاومت در برابر خوردگی بهتری نسبت به آلیاژ می‌باشد، به همین منظور گاهی از فلزات خالص در صنعت استفاده می‌شود؛ مانند انتقال جریان الکتریسیته که برای این منظور از مس خالص استفاده می‌شود. بنابراین رفتار فلز خالص در حین ریخته‌گری و انجماد برای تولید قطعات با کیفیت بالا مهم است.

با توجه به مطالب ذکر شده معمولاً در فلز خالص، نقطه ذوب و انجماد یکی می‌باشد. چون در حین ذوب و یا انجماد فلز مذاب، دما ثابت باقی می‌ماند. اگر مذاب فلز خالص در قالب ریخته شود و سرعت سرد شدن مذاب بسیار آهسته و تقریباً ثابت باشد (سرد شدن تعادلی) مذاب گرمای خود را با سرعت تقریباً ثابتی به قالب منتقل می‌کند تا به دمای انجماد برسد (مطابق نقطه A در نمودار شکل ۳-۷ الف). به محض رسیدن دمای مذاب به نقطه A، انجماد مذاب شروع شده و دمای آن تا پایان انجماد (نقطه B) ثابت باقی می‌ماند، در نمودار شکل ۳-۷ الف به صورت پاره خط AB نشان داده شده است. در زمان بین شروع (نقطه A) و پایان انجماد (نقطه B) مراحل تشکیل جوانه، رشد جوانه (دندریت‌ها) و جامد شدن کامل مذاب انجام می‌شود. پس از پایان انجماد از نقطه B، دمای جامد ایجاد شده کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۷ الف

معمولاً سرعت سرد شدن مذاب در قالب بسیار آهسته و ثابت نمی‌باشد؛ سرعت آن اختلاف دمای مذاب و قالب، که معمولاً برابر درجه حرارت محیط است، می‌باشد. بنابراین هنگامی که مذاب فلز خالص به داخل قالب ریخته می‌شود، دمای آن به سرعت کاهش یافته و دمای مذاب حتی از دمای انجماد نیز پایین‌تر خواهد رفت. این دما در نمودار شکل ۳-۷ ب به صورت T_1 نمایش داده شده است. در این حالت هنوز مذاب منجمد نشده است و پیدایش جامدهای اولیه در مذاب به تأخیر افتاده است و جوانه‌ها به جای این که در دمای انجماد (نقطه A) به وجود آیند در دمایی پایین‌تر از نقطه انجماد (T_1) تشکیل می‌گردند. اختلاف دمای بین T_1 و دمای انجماد تعادلی (A) را مادون انجماد می‌نامند و با ΔT نمایش می‌دهند در حقیقت در دمای T_1 ناگهان، جوانه‌ها یا کریستال‌های جامد اولیه تشکیل شده و تعداد آن‌ها با سرعت زیادی افزایش می‌یابد. همچنین هنگامی که مذاب به جامد تبدیل می‌شود. گرمای نهان انجماد آن آزاد می‌شود، با تشکیل این جوانه‌ها گرمای نهان انجماد آن‌ها آزاد شده و دما افزایش می‌یابد تا به دمای انجماد تعادلی (دمای نقطه A) برسد. پس از آن، انجماد ادامه یافته تا در نقطه B خاتمه یابد و از نقطه B به بعد دمای جامد با سرعت زیاد کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۷ ب

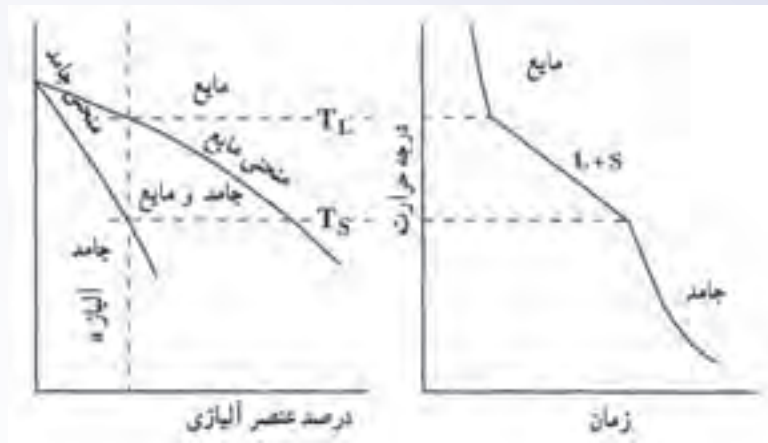
معمولاً انجماد آلیاژها به دلیل پایین بودن دمای قالب از دمای مذاب، تحت مادون انجماد انجام می‌شود. خواص و مشخصات فیزیکی - مکانیکی قطعات ریختگی تحت تأثیر مادون انجماد تغییر می‌کند؛ به عبارت دیگر با افزایش سرعت سرد کردن ساختمان میکروسکوپی فلز تغییر کرده و خواص مکانیکی قطعه یا فلز تغییر می‌کند. مثلاً افزایش سرعت سرد کردن مذاب، سبب به وجود آمدن ساختمان میکروسکوپی با دانه‌های ریز می‌شود که خواص مکانیکی بسیار خوبی در دمای محیط دارد.

۳-۳- مشخصات آلیاژها و رفتار آنها در هنگام انجماد

فلزات خالص در صنعت کاربرد زیادی دارند، اما برای بهبود خواص، مشخصات و ایجاد تغییرات مناسب در آنها، عناصر آلیاژی را به فلزات خالص اضافه می‌کنند و از آلیاژهای آنها در صنعت استفاده می‌کنند. به طور کلی آلیاژها دارای مقاومت بهتری در برابر نیروهای خارجی نسبت به فلزات خالص می‌باشند؛ به عبارت دیگر آلیاژها استحکام بالاتری نسبت به فلزات خالص دارند. به عنوان مثال با اضافه نمودن کربن به عنوان عنصر آلیاژی در آهن خالص می‌توان استحکام آهن را تا چند برابر افزایش داد.

عناصر آلیاژی برای اهداف مختلفی به فلزات خالص اضافه می‌شوند، که عبارتند از: افزایش استحکام فلزات در درجه حرارت‌های بالا، بهبود قابلیت ماشین‌کاری فلز، افزایش مقاومت در برابر خوردگی و غیره.

معمولاً اضافه نمودن عناصر آلیاژی به فلز خالص، سبب کاهش نقطه ذوب فلز می‌شود. همچنین رفتار فلز را در هنگام انجماد تغییر می‌دهد. به همین منظور گاهی عناصر آلیاژی را به خاطر اصلاح و بهبود خواص ریخته‌گری، فلز خالص به آن اضافه می‌کنند. چون ممکن است نقطه ذوب فلز خالص بالا باشد و مذاب فلز خالص دارای سیالیت مناسبی نباشد که با اضافه نمودن عناصر آلیاژی می‌توان نقطه ذوب فلز خالص را کاهش داد و سیالیت مذاب را بهبود بخشید. عناصر آلیاژی سبب می‌شوند که انجماد فلز به جای این که در یک دمای ثابت انجام شود، در یک فاصله دمایی صورت گیرد. همچنین، ذوب در یک فاصله دمایی یا گستره دمایی انجام می‌شود. به این ترتیب، برای هر آلیاژ معین دمایی وجود دارد که بالاتر از آن، آلیاژ کاملاً به صورت مذاب می‌باشد. به این دما، درجه حرارت لیکوئیدوس گفته می‌شود. همچنین دمای دیگری وجود دارد که پایین‌تر از آن، آلیاژ به صورت جامد است. به این دما، دمای سالیدوس می‌گویند. پس در بین این دو دما (دمای لیکوئیدوس و سالیدوس) آلیاژ نه به طور کامل مذاب بوده و نه جامد، بلکه به صورت مخلوطی از جامد و مذاب می‌باشد که به اصطلاح خمیری نامیده می‌شود. فاصله بین دمای لیکوئیدوس و سالیدوس را دامنه انجماد می‌گویند. و در این فاصله دمایی، مذاب به جامد تبدیل می‌شود. این پدیده در شکل ۳-۸ به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۳-۸

در این شکل دو نمودار نشان داده شده است: نمودار سمت چپ، نمودار دما برحسب درصد عناصر آلیاژ می باشد که به نمودار تعادلی معروف است؛ زیرا این نمودار در حالت سرد کردن تعادلی آلیاژهای با درصدهای مختلف از دو فلز رسم شده است. در این نمودار، آلیاژی با ترکیب آلیاژ a در نظر گرفته شده است. اگر مذاب آلیاژ a در حال سرد شدن باشد، با کاهش دمای مذاب، در دمای T_L (دمای لیکوئیدوس) انجماد آلیاژ شروع شده و با ادامه سرد شدن در دمای T_S (دمای سالییدوس) انجماد تمام شده است.

در نمودار سمت راست شکل ۳-۸، منحنی دما برحسب زمان برای سرد شدن آلیاژ a رسم شده است. همان طور که ملاحظه می شود بالای دمای T_L ، آلیاژ کاملاً به صورت مذاب می باشد. بنابراین با سرد کردن مذاب دمای آن با سرعت نسبتاً زیادی کاهش می یابد. انجماد در دمای T_L شروع شده و با توجه به تشکیل جوانه های جامد، رشد و آزاد شدن گرمای نهان انجماد آن ها سرعت سرد شدن مذاب کاهش می یابد و در دمای T_S انجماد خاتمه می یابد. از دمای T_S با ادامه سرد کردن دمای جامد با سرعت بیشتری کاهش می یابد.

همان طور که مشاهده می شود، در فاصله بین T_L و T_S آلیاژ به صورت خمیری می باشد. البته ذکر این نکته لازم است که سرد کردن آلیاژ مذاب a به صورت تعادلی و با سرعت بسیار آهسته صورت گرفته است.

در صورتی که چند فلز در دما و فشار معین با یکدیگر مخلوط شوند و به صورت یکنواخت درآیند، یک سیستم آلیاژی را به وجود می آورند. به عنوان مثال، اگر طلا و نقره در یک بوتله قرار داده شوند، ذوب شوند و کاملاً به صورت یکنواخت درآیند، یک سیستم آلیاژی را به وجود آورده اند. آلیاژهایی که از دو عنصر تشکیل شده باشند مانند آلیاژ مس و نیکل، سیستم آلیاژی دوتایی و آلیاژهایی که از سه عنصر تشکیل شده باشند، مانند آلیاژ آلومینیوم، سیلیسیم و منیزیم، سیستم سه تایی نامیده می شود. همچنین آلیاژهایی که از چهار عنصر تشکیل شده باشند مانند آلیاژ آهن، کربن، کروم، نیکل، سیستم چهارتایی نامیده می شود.

در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب هنرجویان

۲- پیش‌آزمون (کتبی، شفاهی، پاسخ کوتاه و ...) از مطالب جلسه قبل

۳- یادآوری مطالب از جلسه قبل

موضوع: آلیاژهای محلول جامد

برای آمادگی هنرجویان با موضوع تدریس این جلسه، چند سؤال به صورت تعاملی مطرح شود.

۱- آیا فلزات در حالت مذاب در یکدیگر حل می‌شوند؟ در حالت جامد چه‌طور؟

۲- به نظر شما، رفتار یک آلیاژ دوتایی که در آن، دو فلز در حالت جامد و مایع کاملاً در یکدیگر حل می‌شوند،

در حین انجماد شبیه فلز خالص است یا خیر؟

۳- آیا می‌توان ساختمان میکروسکوپی آلیاژ را پس از انجماد پیش‌بینی کرد؟ خواص دیگر را چه‌طور؟

۱-۳-۳- آلیاژهای محلول جامد: اگر در یک ظرف آب، الکل بریزیم، الکل کاملاً در آب حل می‌شود به

عبارت دیگر مایع حاصله شبیه یک ماده واحد می‌باشند، به طوری که، تشخیص و جدا کردن آب و الکل از یکدیگر

به سادگی انجام‌پذیر نیست. در حقیقت مولکول‌های الکل به‌طور کاملاً یکنواخت بین مولکول‌های آب پخش می

شوند علت این امر، مشابه بودن مولکول‌های آب و الکل از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی است. بعضی فلزات

نیز در حالت مذاب در یکدیگر به‌طور کامل حل می‌شوند؛ به طوری که، یک مذاب همگن به‌دست می‌آید. علت

این امر، یکسان بودن ساختار کریستالی دو فلز است. در بعضی از حالات، دو فلز در حالت جامد نیز کاملاً در

یکدیگر حل می‌شوند و محلول جامد تشکیل می‌دهند. طلا و نقره از جمله فلزاتی هستند که هم در حالت مذاب

و هم در حالت جامد در یکدیگر به‌طور کامل حل می‌شوند؛ به طوری که به صورت یک فلز یکنواخت و هموزن

درمی‌آیند. در حقیقت، اتم‌های طلا در شبکه کریستالی اتم‌های نقره به‌طور یکنواخت پخش می‌شود. لازمه این

انحلال، یکسان بودن شبکه کریستالی دو فلز، نزدیک بودن اندازه شعاع اتمی دو فلز، الکترونگاتیویته نزدیک به هم

و ظرفیت شیمیایی یکسان می‌باشد. طلا و نقره هر دو شبکه کریستالی یکسان (F.C.C) دارند، اندازه شعاع اتمی

آن‌ها نزدیک به هم است و هر دو دارای ظرفیت شیمیایی و الکترونگاتیویته یکسان می‌باشند. بنابراین، طلا و نقره

در هر دو حالت مایع و جامد کاملاً در یکدیگر محلول هستند. این چنین آلیاژهایی که هم در حالت مایع و هم در

حالت جامد به‌طور کامل در یکدیگر محلول هستند، آلیاژهای محلول جامد نامیده می‌شوند.

مثال دیگر از این نوع آلیاژها، آلیاژهای مسی و نیکل هستند که دارای شبکه کریستالی یکسان (F.C.C) می‌باشند. اختلاف بین شعاع اتمی آن‌ها ناچیز و الکترونگاتیویته و ظرفیت شیمیایی یکسان دارند. برای بررسی آلیاژ نیکل - مس، لازم است ابتدا نمودار تعادلی آلیاژ مطالعه شود. محور عمودی این نمودار، برحسب دما و محور افقی آن برحسب درصد عنصر آلیاژی می‌باشد. محور افقی به صورتی است که تمام آلیاژهای با درصد مختلف دو عنصر را در برمی‌گیرد. به طوری که هریک از محورهای عمودی، دمای مربوط به یک عنصر می‌باشد. مثلاً در نمودار تعادلی نیکل مس، روی محور عمودی سمت چپ نقطه ذوب نیکل و روی محور عمودی سمت راست، نقطه ذوب مس نشان داده شده است. البته ذکر این نکته لازم است که این نمودار در شرایط سرد کردن بسیار آهسته یا به عبارت دیگر، نزدیک به حالت سرد کردن تعادلی مذاب آلیاژهای مختلف دو فلز، رسم شده است. برای رسم نمودارهای تعادلی، آلیاژهای مختلف از دو فلز با درصدهای مختلف تهیه شده و پس از ذوب، با سرعت بسیار آهسته (تعادلی) سرد می‌شود در هنگام سرد شدن، دمای شروع و پایان انجماد را مشخص می‌نمایند. سپس نقاط شروع انجماد آلیاژهای مختلف دو عنصر را به یکدیگر وصل می‌کنند. همچنین نقاط پایان انجماد آلیاژهای مختلف دو عنصر را به یکدیگر متصل می‌نمایند تا نمودار تعادلی آلیاژ به دست آید. به عنوان مثال، در مورد نمودار تعادلی نیکل - مس ابتدا آلیاژهای مختلف از دو فلز را تهیه می‌کنند؛ مثلاً آلیاژی به صورت Ni_{100} ٪، $Cu_{1} + Ni_{99}$ ٪، $Cu_{2} + Ni_{98}$ ٪، $Cu_{3} + Ni_{97}$ ٪،، $Cu_{50} + Ni_{50}$ ٪،، $Cu_{98} + Ni_{2}$ ٪، $Cu_{99} + Ni_{1}$ ٪ و Cu_{100} ٪. سپس این آلیاژها را به طور کامل ذوب می‌کنند تا به صورت کاملاً مایع درآیند. بعد، آلیاژهای مذاب را با سرعت بسیار آهسته (تعادلی) سرد می‌کنند و درجه حرارت شروع و پایان انجماد هر آلیاژ را مشخص می‌نمایند. و در نمودار تعادلی آلیاژ نیکل و مس، این نقاط را ثبت می‌نمایند. این کار را برای کلیه آلیاژهای نیکل و مس انجام می‌دهند پس از آن کلیه نقاط شروع انجماد آلیاژهای مختلف نیکل، مس را با یک منحنی به یکدیگر وصل می‌نمایند.

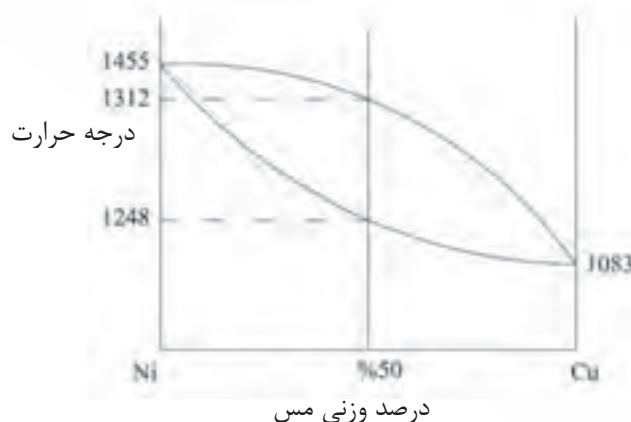
به همین ترتیب، کلیه نقاط پایان انجماد آلیاژهای مختلف نیکل و مس را نیز با منحنی دیگری به هم وصل می‌کنند. منحنی اول، منحنی لیکوئیدوس نامیده می‌شود، که تمام نقاط شروع انجماد آلیاژهای مختلف مس و نیکل روی آن قرار دارد. منحنی دوم، منحنی سالییدوس نامیده می‌شود، که تمام نقاط پایان انجماد آلیاژهای مختلف مس و نیکل روی آن قرار دارد. پس از رسم این دو منحنی، شکل نمودار تعادلی نیکل - مس به صورت شکل ۹-۳ خواهد شد.



شکل ۳-۹

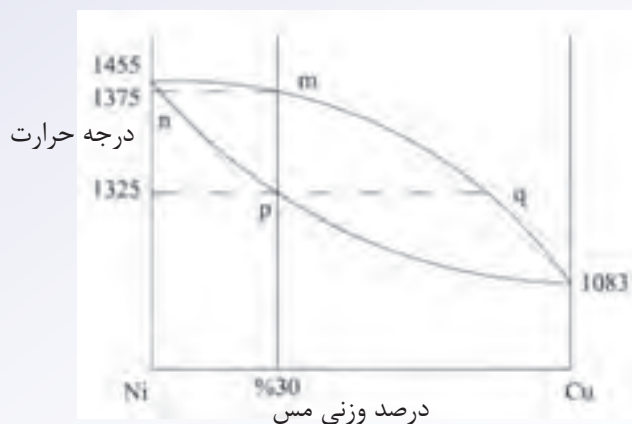
این نوع نمودار تعادلی، مربوط به آلیاژهای محلول جامد می‌باشد که در حالت مایع و جامد در هر نسبتی در یکدیگر حل می‌شوند. در نمودار شکل، در بالا منحنی لیکوئیدس، کلیه آلیاژهای مس و نیکل در هر نسبتی، به صورت محلول مذاب و در زیر منحنی سالییدوس، تمام آلیاژهای مس و نیکل با هر نسبتی، به صورت محلول جامد می‌باشند. بین دو منحنی لیکوئیدوس و سالییدوس، کلیه آلیاژهای مس و نیکل، به صورت مخلوطی از محلول جامد و محلول مذاب می‌باشد. به این ناحیه، منطقه خمیری می‌گویند.

معمولاً نمودار تعادلی آلیاژ به صورت تجربی به دست می‌آید. براساس قوانین ترمودینامیک نیز می‌توان معادلات منحنی‌های لیکوئیدوس، سالییدوس و خط‌های دیگر نمودار تعادل را به دست آورد، در حوصله این درس نمی‌باشد. با داشتن نمودار تعادلی دو عنصر، می‌توان به راحتی دمای شروع و پایان انجماد آلیاژهای با درصدهای مختلف آن دو عنصر را به دست آورد. برای این کار کافی است، خطی عمود بر محور افقی رسم نمود. این خط، منحنی‌های سالییدوس و لیکوئیدوس را به ترتیب در دماهای پایان و شروع انجماد قطع می‌کند. به عنوان مثال، با توجه به شکل ۳-۱۰ برای آلیاژ $50\% \text{ Ni} + 50\% \text{ Cu}$ ، دماهای شروع پایان انجماد، به ترتیب ۱۳۱۲ و ۱۲۴۸ درجه سلسیوس خواهد بود.



شکل ۳-۱۰

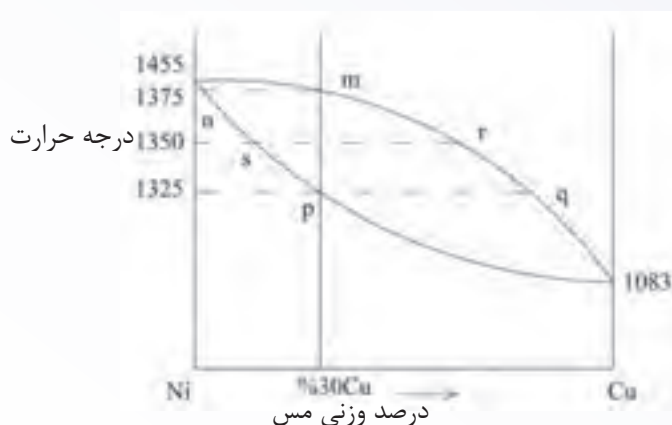
حال آلیاژ ۷۰ درصد نیکل و ۳۰ درصد مس (۷۰ Ni + ۳۰ Cu) را در نظر می‌گیریم. در نمودار تعادلی Ni-Cu، از نقطه ۳۰ درصد وزنی مس روی محور افقی، خطی عمودی رسم می‌کنیم تا منحنی‌های سالییدوس و لیکوئیدوس را در نقاط m و p قطع کند (مطابق شکل ۱۱-۳).



شکل ۱۱-۳

حال از نقاط m و p، دو خط افقی رسم می‌کنیم به طوری که منحنی‌های سالییدوس و لیکوئیدوس را به ترتیب در نقاط n و q قطع نمایند. با توجه به نمودار، مشخص است که نقاط شروع و پایان انجماد آلیاژ فوق، به ترتیب نقاط m و p با دماهای ۱۳۷۵ و ۱۳۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد. در حقیقت، اگر این آلیاژ به طور کامل ذوب شده و به صورت بسیار آهسته (تعادلی) سرد شود، در دمای حدود ۱۳۷۵ درجه سلسیوس، اولین کریستال‌های جامد در آن تشکیل می‌شود و با ادامه سرد شدن، این کریستال‌های جامد رشد کرده و بزرگتر می‌شوند، تا زمانی که دما به ۱۳۲۵ درجه سلسیوس برسد و انجماد پایان یابد. در این حالت، کریستال‌های جامد به طور کامل رشد کرده و به هم رسیده‌اند. حال با توجه به نمودار شکل ... می‌توان ترکیب شیمیایی جامد تشکیل شده و مذاب باقی مانده در شروع انجماد را، به دست آورد. نقطه m که روی منحنی لیکوئیدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن $70\% \text{ Ni} + 30\% \text{ Cu}$ است، بیانگر ترکیب شیمیایی مذاب در شروع انجماد است و نقطه n که روی منحنی سالییدوس قرار گرفته و ترکیب شیمیایی آن $80\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Cu}$ می‌باشد، ترکیب شیمیایی جامد را در شروع انجماد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، در شروع انجماد درصد نیکل جزء جامد، بیشتر از درصد نیکل مذاب است، یعنی، جزء جامد، غنی از نیکل می‌باشد. در پایان انجماد نیز می‌توان، ترکیب شیمیایی جامد و مذاب را به دست آورد. نقطه p که روی منحنی سالییدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن $70\% \text{ Ni} + 30\% \text{ Cu}$ است، ترکیب شیمیایی جامد در پایان انجماد و نقطه q که روی منحنی لیکوئیدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن $56\% \text{ Ni} + 44\% \text{ Cu}$ است، ترکیب شیمیایی مذاب را در پایان انجماد نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ترکیب شیمیایی جامد در ابتدای انجماد $80\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Cu}$ است و در پایان انجماد به ترکیب شیمیایی $70\% \text{ Ni} + 30\% \text{ Cu}$ می‌رسد این تغییر نشان می‌دهد که، از شروع تا پایان

انجماد، درصد عنصر نیکل در جزء مذاب به تدریج کاهش یافته است و ترکیب شیمیایی جامد در هر دما، بین شروع و پایان انجماد، روی منحنی سالییدوس در فاصله بین نقاط n و p تغییر کرده است. به همین ترتیب، ترکیب شیمیایی مذاب در ابتدای انجماد $Cu\ 30\% + Ni\ 70\%$ است و در پایان انجماد، ترکیب شیمیایی مذاب $Cu\ 44\% + Ni\ 56\%$ می‌شود. با توجه به این دو ترکیب شیمیایی مذاب درمی‌یابیم که درصد عنصر نیکل از ابتدا تا پایان انجماد، کاهش یافته است. ترکیب شیمیایی مذاب در هر دما، بین شروع و پایان انجماد، روی منحنی لیکوئیدوس در فاصله بین نقاط m و q تغییر کرده است. به عنوان مثال اگر در دمای $1350^\circ C$ درجه سلسیوس (بین دمای شروع و پایان انجماد) خطی افقی رسم نماییم، منحنی‌های لیکوئیدوس و سالییدوس را در نقاط r و s قطع می‌نماید. (مطابق شکل ...)

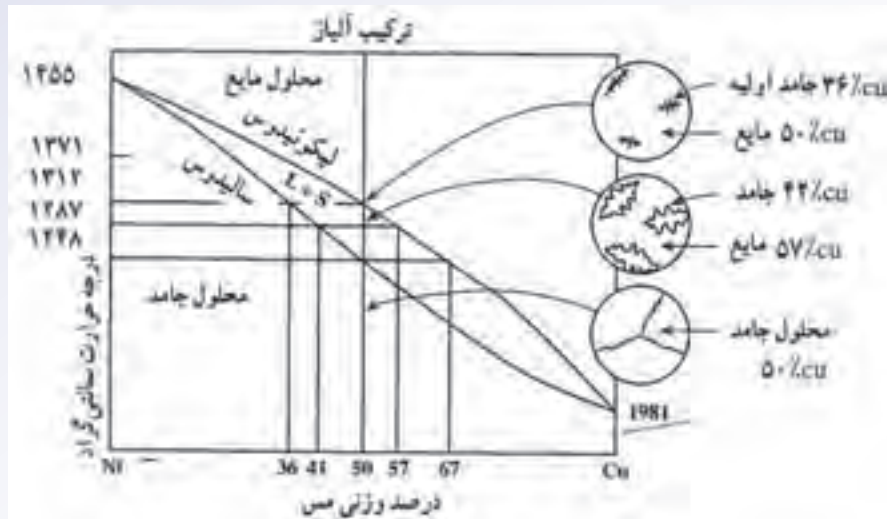


شکل ۱۲-۳

نقطه r ، که روی منحنی لیکوئیدوس قرار دارد، ترکیب شیمیایی مذاب در دمای $1350^\circ C$ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد که معادل $Cu\ 38\% + Ni\ 62\%$ است. نقطه s که روی منحنی سالییدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن برابر $Cu\ 26\% + Ni\ 74\%$ است. ترکیب شیمیایی جامد در دمای $1350^\circ C$ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، درصد نیکل در هر دو جزء جامد و مذاب، با ادامه انجماد (با کاهش دما) در حال کاهش است.

در نمودار شکل ۱۳-۳، مراحل مختلف انجماد آلیاژ $Cu\ 50\% + Ni\ 50\%$ از ابتدای انجماد مذاب تا پایان آن، به همراه ترکیب شیمیایی جزء جامد و مذاب در ابتدا، انتها و اواسط انجماد، نشان داده شده است. مذاب در دمای $1312^\circ C$ درجه سلسیوس، شروع به انجماد می‌نماید و جزء جامد مطابق شکل در آن ایجاد می‌شود. در این دما، جزء جامد دارای $Cu\ 36\% + Ni\ 64\%$ و جزء مایع دارای $Cu\ 50\% + Ni\ 50\%$ می‌باشد. در دمای $1287^\circ C$ درجه سلسیوس جزء جامد مطابق شکل رشد کرده و مقدار جزء مذاب کاهش یافته است. در این دما، ترکیب شیمیایی جزء جامد $Cu\ 42\% + Ni\ 58\%$ و ترکیب شیمیایی جزء مایع $Cu\ 57\% + Ni\ 43\%$ است. در دمای $1248^\circ C$ درجه سلسیوس، انجماد پایان می‌یابد، کریستال‌های جزء جامد مطابق شکل به‌طور کامل رشد کرده و به هم رسیده‌اند.

در پایان انجماد، ترکیب شیمیایی جزء جامد، $50\% \text{ Ni} + 50\% \text{ Cu}$ و ترکیب شیمیایی جزء مایع، $67\% \text{ Cu} + 33\% \text{ Ni}$ خواهد بود.



شکل ۱۳-۳. نمودار تعادل نیکل - مس

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ترکیب شیمیایی جزء جامد ایجاد شده در ابتدای انجماد ($64\% \text{ Ni} + 36\% \text{ Cu}$) با ترکیب شیمیایی جزء جامد ایجاد شده در پایان انجماد ($50\% \text{ Ni} + 50\% \text{ Cu}$) متفاوت است. بنابراین، در کریستال جامد تشکیل شده، ترکیب شیمیایی از مرکز کریستال به سمت خارج تغییر کرده است. این پدیده یک عیب محسوب شده و باعث کاهش خواص جامد می‌گردد. در حالتی که انجماد با سرعت سرد کردن بسیار آهسته (تعادلی) صورت می‌گیرد، اتم‌های دو عنصر فرصت کافی برای نفوذ (دیفوزیون) دارند؛ بنابراین، این تغییر ترکیب شیمیایی در ساختار جامد از بین رفته و جامد کاملاً یکنواخت خواهد شد. اما، در عمل، با توجه به این که انجماد در قالب انجام می‌گیرد و سرعت انجماد بسیار بالاتر از حالت تعادلی است، عیب غیریکنواختی ترکیب شیمیایی، در جامد باقی می‌ماند. برای برطرف کردن این عیب، از عملیات حرارتی استفاده می‌شود.

در هنگام انجماد مذاب، منحنی لیکوئیدوس نشان‌دهنده شروع انجماد آلیاژ دو منحنی سالییدوس نشان‌دهنده پایان انجماد آلیاژ می‌باشد. اما در عملیات ذوب، که عکس انجماد می‌باشد، منحنی سالییدوس نشان‌دهنده شروع ذوب آلیاژ و منحنی لیکوئیدوس نشان‌دهنده پایان ذوب آلیاژ می‌باشد.

به‌طور کلی، نمودارهای تعادلی آلیاژها اطلاعات بسیار مهمی در مورد ساختمان میکروسکوپی آلیاژ و در نتیجه مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن‌ها ارائه می‌کند. از طرف دیگر، با استفاده از این نمودارها می‌توان برای هر آلیاژ، دمای شروع پایان انجماد، رفتار انجماد و دمای مناسب برای ریختن فلز مذاب در قالب به‌دست آورد. همچنین، نمودارهای تعادلی فاصله حرارتی انجماد آلیاژ (دامنه حرارتی انجماد) را مشخص می‌نماید، که به کمک

آن می‌توان، ویژگی‌های آلیاژ در هنگام ریخته‌گری، مانند میزان انقباض، مقدار حفره‌های انقباضی و گازی، امکان ایجاد ترک‌های حرارتی و میزان سیالیت مذاب را تعیین کرد. به عنوان مثال، اگر مادون انجماد آلیاژ زیاد باشد، آلیاژ ریزدانه شده و خواص مکانیکی (استحکام) بهتری خواهد داشت.

مشخصات آلیاژ تشکیل شده از دو فلز، به نحوه قرار گرفتن اتم‌های دو عنصر فلزی در کنار یکدیگر بستگی دارد. دو عنصر ممکن است نسبت به یکدیگر حالت‌های مختلفی داشته باشد؛ ممکن است در حالت مایع (مذاب) به صورت کاملاً محلول باشند و یا کاملاً غیرمحلول در حالت غیرمحلول، دو فلز به صورت دولایه مجزا روی هم قرار گیرند (مانند آب و روغن) و عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ، به صورت مجزا از یکدیگر قرار خواهند گرفت. به این نوع آلیاژ مخلوط مکانیکی عناصر می‌گویند. آلیاژ آهن و سرب نمونه‌ای از این نوع آلیاژ است که در آن آهن و سرب به صورت دولایه مجزا روی یکدیگر قرار می‌گیرند. قلع و کادمیم نیز در حالت جامد کاملاً غیرمحلول می‌باشند. اما آلیاژهایی دیگر وجود دارند که در حالت جامد، عناصر تشکیل‌دهنده آن‌ها در یکدیگر حلالیت محدود دارند، مانند آلیاژ آلومینیوم - مس.

در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب هنرجویان
- ۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی و ...) از مطالب جلسه قبل
- ۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

موضوع:

- آلیاژهای یوتکتیک

- ترکیبات بین فلزی

- نمودارهای فازی

توصیه می‌شود که در ابتدای جلسه، جهت آمادگی ذهنی هنرجویان و تعامل بیشتر با آن‌ها سؤالاتی مطرح شود و پاسخ هنرجویان به سؤال‌ها شنیده شود.

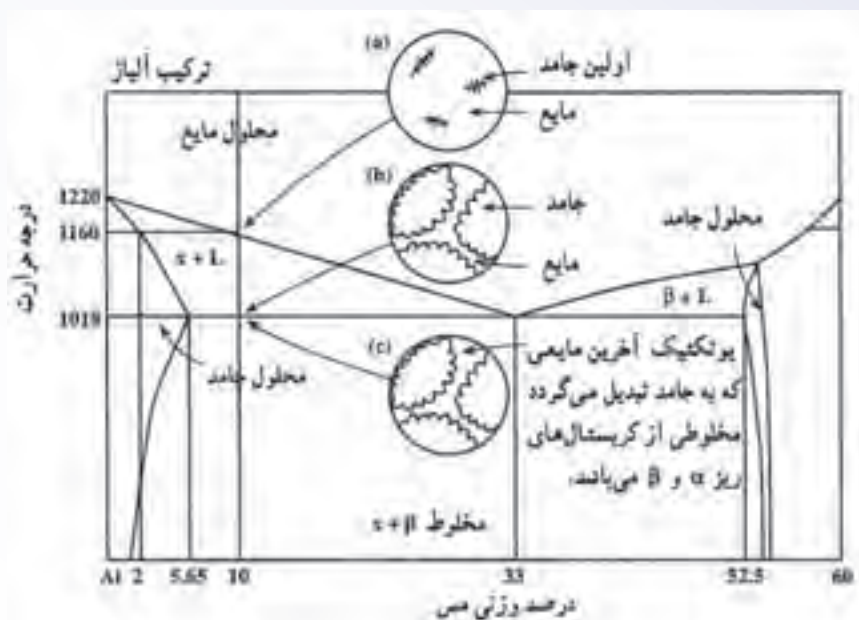
چند سؤال پیشنهادی برای شروع این جلسه عبارتند از:

- ۱- آیا فلزات با هر نسبتی در یکدیگر محلولند؟
- ۲- اگر سرعت سرد کردن مذاب زیاد باشد، ترکیب شیمیایی قسمت‌های مختلف قطعه پس از انجماد چگونه تغییر می‌کند؟ آیا ترکیب شیمیایی در تمام نقاط یکسان است؟
- ۳- آیا فلزات با یکدیگر ترکیب شیمیایی تولید می‌کنند.
- ۴- به نظر شما، از نمودارهای تعادلی چه اطلاعاتی می‌توان به دست آورد؟

۲-۲-۳- آلیاژهای یوتکتیک: آلیاژهای یوتکتیک آلیاژهایی هستند که در حالت جامد، عناصر تشکیل

دهنده آن با نسبتی در یکدیگر محلول نیستند در این صورت، عناصر تشکیل یک مخلوط جامد مکانیکی می‌دهند که اجزای آن به‌طور مجزا و لایه‌لایه روی هم قرار می‌گیرند. معمولاً این آلیاژها از دو جزء کریستالی متفاوت از نظر ترکیب شیمیایی و یا ساختمان میکروسکوپی تشکیل می‌شوند که این دو جزء به‌صورت مجزا و در ابعاد بسیار کوچک (ذره‌ای یا لایه‌ای) در کنار هم قرار می‌گیرند. بعضی از فلزات در حالت جامد کاملاً در یکدیگر غیرمحلول هستند. از این نوع فلزات می‌توان به آلیاژ قلع - کادمیم اشاره کرد که ساختمان میکروسکوپی آن شامل کریستال های بسیار ریز قلع خالص و کادمیم خالص خواهد بود. در حقیقت در چنین حالتی، عناصر یک مخلوط مکانیکی تشکیل می‌دهد. گروه دیگری از آلیاژها وجود دارند که فلزهای تشکیل دهنده آن‌ها در حالت جامد نه به‌طور کامل

محلول و نه به طور کامل نامحلول می‌باشند در حقیقت در این حالت، حلالیت محدودی بین فلزهای تشکیل دهنده وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان آلیاژ آلومینیوم - مس را نام برد. نمودار تعادلی آلیاژ آلومینیوم - مس به صورت شکل ۱۴-۳ می‌باشد.

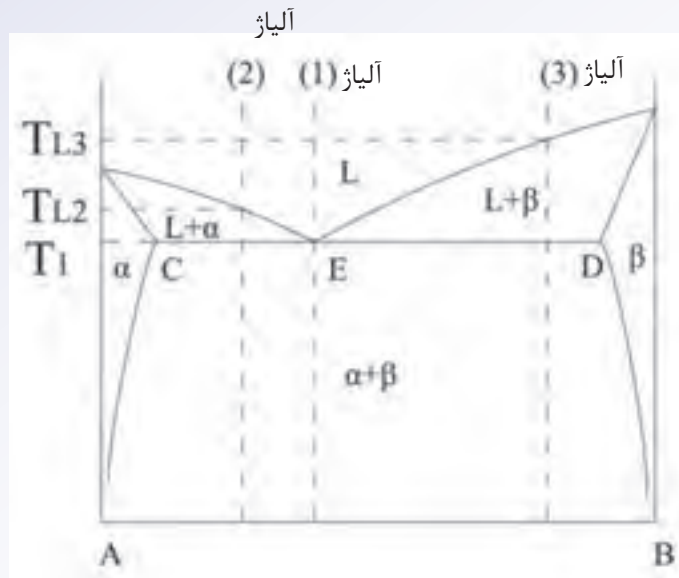


شکل ۱۴-۳. نمودار تعادلی آلومینیوم - مس

همان‌طور که از نمودار مشخص می‌شود، در حالت مذاب آلیاژهای آلومینیوم و مس در هر نسبتی در یکدیگر محلول می‌باشند. اما در حالت جامد حلالیت آلومینیوم در مس و مس در آلومینیوم بسیار کم است. بنابراین، ساختمان آلیاژ در حالت جامد، از دو جزء α و β تشکیل شده است، جزء α غنی از عنصر آلومینیوم است و در آن مقدار بسیار کمی اتم‌های مس به صورت محلول وجود دارند. جزء β غنی از عنصر مس است و در آن درصد کمی آلومینیوم وجود دارد.

همان‌طور که در سمت راست نمودار مشاهده می‌شود، در دمای 1018°C درجه فارنهایت (548°C) ، مقدار مس در جزء α حدود $5/65\%$ است با کاهش دما به تدریج مقدار اتم‌های مس محلول در آلومینیوم کاهش می‌یابد، و در دمای حدود 600°C درجه فارنهایت (315°C) ، مقدار عنصر مس محلول در آلومینیوم به 2% می‌رسد. با کاهش بیشتر دما، مقدار مس حل شده در آلومینیوم بسیار کمتر خواهد شد. بنابراین، حلالیت مس در آلومینیوم محدود بوده و با کاهش دما میزان حلالیت مس در آلومینیوم کاهش می‌یابد. به همین ترتیب حلالیت آلومینیوم در مس با کاهش دما کم می‌شود. بنابراین، این آلیاژ در دمای محیط مخلوطی از دو جزء α (غنی از آلومینیوم) و β (غنی از مس) می‌باشد. به چنین آلیاژی، آلیاژ یوتکتیک گفته می‌شود.

به طور ساده در نمودار تعادلی آلیاژ یوتکتیک سه نوع آلیاژ مشاهده می‌شود که به صورت آلیاژهای ۱، ۲ و ۳ در شکل ۳-۱۵ مشخص شده است.

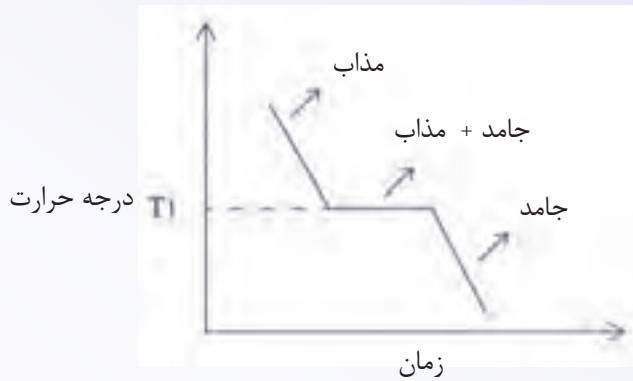


شکل ۳-۱۵

مطابق شکل ۳-۱۵، آلیاژ از دو عنصر A و B تشکیل شده است که با هر نسبتی در یکدیگر محلول نیستند و ساختار آلیاژ در حالت جامد از دو جزء α (غنی از عنصر A) و β (غنی از عنصر B) تشکیل شده است همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود، یک خط افقی (پاره خط CD) در نمودار وجود دارد که دما در هر نقطه روی آن ثابت است. دمای این خط که با T_1 نشان داده شده است، دمای یوتکتیک نامیده می‌شود. نقطه E روی خط CD نشان دهنده ترکیب شیمیایی آلیاژی است که کمترین‌های ذوب را دارد. این آلیاژ، آلیاژ با ترکیب یوتکتیک می‌باشد. اگر آلیاژی با ترکیب نقطه یوتکتیک (نقطه E)، به عنوان مثال آلیاژ یا در شکل قبل را از حالت مذاب سرد کنیم، ابتدا دمای مذاب کاهش می‌یابد تا به دمای T_1 برسد. در دمای T_1 ، انجماد مذاب شروع شده و اولین ذرات جامد که شامل دو جزء α و β است، تشکیل می‌شود، انجماد با رشد جامد در مذاب ادامه می‌یابد، تا کل مذاب تبدیل به جامد شود. لازم به ذکر است که تبدیل مذاب به جامد در آلیاژی با ترکیب نقطه یوتکتیک، مانند فلز خالص در دمای ثابت (T_1) انجام می‌گیرد، پس از انجماد کامل مذاب، با کاهش دما، جامد سرد می‌شود تا به دمای محیط برسد.

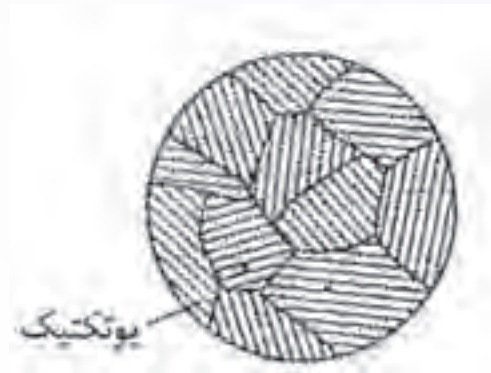
نمودار دما - زمان برای آلیاژ با ترکیب نقطه یوتکتیک (نقطه E) مانند نمودار فلز خالص (مطابق شکل

۳-۱۶) خواهد بود.



شکل ۱۶-۳- نمودار دما برحسب زمان آلیاژ (۱) با ترکیب نقطه یوتکتیک (E)

ساختمان آلیاژ ۱ با ترکیب نقطه یوتکتیک (E) پس از انجماد کامل از لایه‌های بسیار ریز جزءهای جامد α و β ، که روی هم قرار گرفته‌اند گاهی زیر میکروسکوپ به صورت اثر انگشت دیده می‌شود، تشکیل شده است.

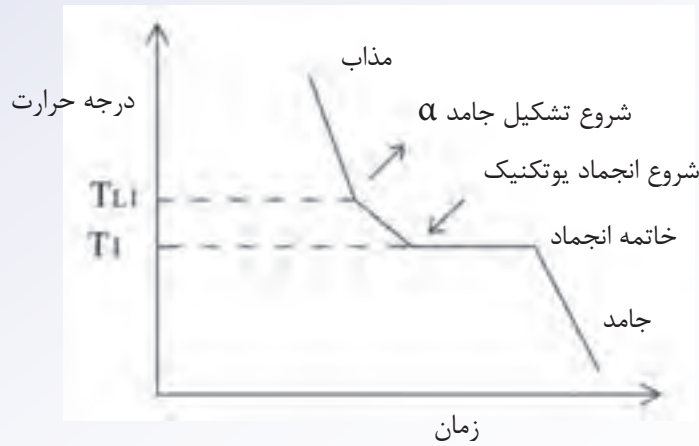


شکل ۱۷-۳

حال آلیاژی با ترکیب شیمیایی آلیاژ ۲ را در نظر می‌گیریم که سمت چپ نقطه یوتکتیک E روی خط CD قرار دارد. این آلیاژ را از حالت مذاب سرد می‌کنیم. با کاهش دما، دمای مذاب کاهش خواهد یافت تا به دمای لیکوئیدوس (T_{L2}) برسد. در دمای T_{L2} ، اولین ذرات جامد شروع به تشکیل می‌کنند. با توجه به این که، ترکیب شیمیایی این آلیاژ قبل از نقطه یوتکتیک (E) و نزدیک به عنصر A می‌باشد، جامد تشکیل شده غنی از عنصر A است و با α نمایش داده شده است. با کاهش بیشتر دما، مذاب بیشتری به جامد (α) تبدیل می‌شود تا آلیاژ به دمای T_1 (درجه حرارت یوتکتیک) برسد. در دمای T_1 ، مذاب باقی‌مانده دارای ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک (E) خواهد بود، زیرا در حین انجماد از دمای T_{L2} تا T_1 ، با تشکیل جامد α (غنی از عنصر A) به تدریج مقدار عنصر A در مذاب باقیمانده کاهش یافته است. در دمای T_1 ترکیب شیمیایی مذاب برابر با ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک (E) شده است. در دمای T_1 ، مذاب باقی‌مانده مانند آلیاژ (۱) به جامد تبدیل می‌شود. در این حالت، دمای آلیاژ در حین انجماد در دمای T_1 ثابت می‌ماند. پس از انجماد کامل در دمای T_1 ، با ادامه سرد کردن، دمای

جامد کاهش می‌یابد تا به دمای محیط برسد.

نمودار دما بر حسب زمان برای انجماد آلیاژ (۲) به صورت نمودار شکل ۱۸-۳ خواهد شد.



شکل ۱۸-۳- منحنی سرد شدن آلیاژ (۲)

با توجه به این منحنی، مشخص می‌شود که با کاهش دما، ابتدا دمای مذاب با شیب زیادی کاهش می‌یابد تا آلیاژ به دمای T_{L_2} برسد. در دمای T_{L_2} ، اولین جوانه‌های جامد تشکیل می‌شود. با ادامه کاهش دما، دمای مخلوط مذاب و جامد α با شیب کمتری نسبت به شیب منطقه مذاب (به دلیل تشکیل مخلوط جامد و مذاب) کاهش می‌یابد تا به دمای T_1 برسد. در دمای T_1 ، مذاب باقی‌مانده تبدیل به جامد یوتکتیک ($\alpha + \beta$) می‌شود. با ادامه سرد کردن از دمای T_1 دمای جامد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد.

ساختمان آلیاژ (۲) پس از انجماد شامل دانه‌های α و دانه‌های آلیاژ یوتکتیک (لایه‌های ظریف α و β) می‌باشد.

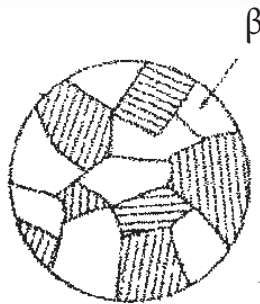


شکل ۱۹-۳

آلیاژ (۲) دارای ترکیب شیمیایی قبل از نقطه یوتکتیک است یا به عبارت دیگر، مقدار آلومینیوم آن کمتر از ۳۳٪ باشد. به این نوع آلیاژ ماقبل یوتکتیک یا هیپویوتکتیک می‌گویند.

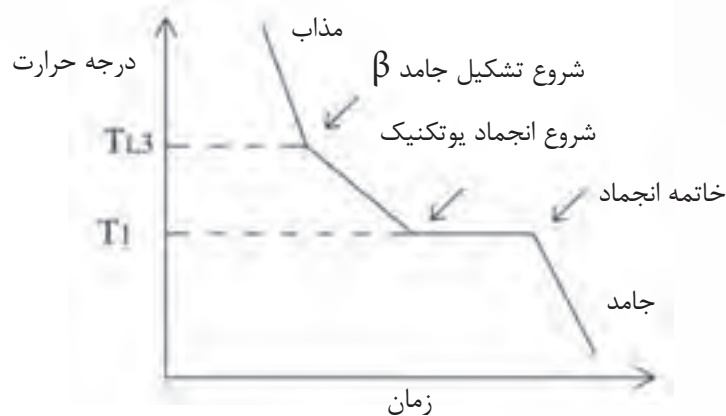
حال اگر آلیاژی مطابق با آلیاژ (۳) را، که ترکیب شیمیایی آن بعد از ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک (E) است، از حالت مذاب سرد کنیم، ابتدا دمای مذاب با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد تا به دمای لیکوئیدوس آلیاژ (T_{L3}) برسد. در دمای T_{L3} ، اولین ذرات جامد تشکیل می‌شود و با ادامه سرد شدن، مقدار جزء جامد افزایش می‌یابد. با توجه به این که ترکیب شیمیایی آلیاژ (۳) بعد از نقطه یوتکتیک (E) و نزدیک به عنصر B است، جزء جامد به وجود آمده، غنی از عنصر B بوده و با β نمایش داده شده است. با ادامه سرد کردن، تا دمای T_1 مقدار جامد β افزایش می‌یابد. در دمای T_1 ، ترکیب شیمیایی مذاب باقی مانده برابر با ترکیب شیمیایی آلیاژ یوتکتیک (E) می‌باشد. زیرا در فاصله دمایی بین T_{L3} و T_1 ، جامد β که غنی از عنصر B است، به تدریج تشکیل شده و در نتیجه مقدار عنصر B در مذاب باقی مانده کمتر از مقدار عنصر B در مذاب اولیه می‌شود. در دمای T_1 ، مذاب باقی مانده تبدیل به جامد یوتکتیک ($\alpha + \beta$) می‌شود. با ادامه سرد کردن از دمای T_1 ، دمای جامد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد.

ساختمان آلیاژ (۳) پس از انجماد شامل دانه‌های β و دانه‌های آلیاژ یوتکتیک (لایه‌های ظریف α و β) می‌باشد.



شکل ۲۰-۳

نمودار سرد شدن آلیاژ (۳) به صورت نمودار ۲۱-۳ خواهد شد.



شکل ۲۱-۳- منحنی سرد شدن آلیاژ (۳)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با سرد کردن مذاب، دمای مذاب با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد تا به دمای T_{L3} برسد. در دمای T_{L3} ، اولین ذرات جامد β در مذاب تشکیل شده و با ادامه سرد کردن مقدار جامد β افزایش می‌یابد. در این ناحیه، به دلیل تشکیل جزء جامد، دمای مخلوط مذاب و جامد β ، با شیب کمتری نسبت به شیب ناحیه مذاب کاهش می‌یابد. در دمای T_1 (دمای یوتکتیک)، مذاب باقی‌مانده تبدیل به جامد یوتکتیک می‌شود که این تبدیل در دمای ثابت انجام می‌گیرد. پس از پایان انجماد، با ادامه سرد کردن، دمای جامد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد. آلیاژ (۳)، که ترکیب آن بعد از نقطه یوتکتیک (E) قرار دارد یا به عبارت دیگر، مقدار آلومینیوم آن بیش از ۳۳٪ است، آلیاژ ما بعد یوتکتیک یا هایپر یوتکتیک نامیده می‌شود.

حالت‌هایی که در مورد آلیاژهای یوتکتیک ذکر شد، زمانی رخ می‌دهند که سرعت سرد کردن بسیار پایین و یا به صورت تعادلی باشد، اما، در شرایط ریخته‌گری با توجه به انجماد مذاب در قالب ماسه‌ای یا فلزی، سرعت انجماد بسیار بالاتر از سرعت انجماد تعادلی است هنگامی که اولین ذرات فاز جامد در مذاب تشکیل می‌شود، ترکیب شیمیایی مذاب تغییر می‌کند و جامدی که در ادامه انجماد تشکیل می‌شود دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی نسبت به جامد اولیه خواهد بود. در حالت سرد کردن تعادلی، اتم‌های عنصر آلیاژی فرصت جابه‌جایی و یا نفوذ (دیفوزیون) را پیدا می‌کنند و ترکیب جامد یکنواخت می‌شود. اما در سرعت‌های بالای انجماد، اتم‌های عنصر آلیاژی فرصت کافی برای نفوذ ندارند. بنابراین، جامدی که ابتدای انجماد تشکیل شد، نسبت به قسمت‌هایی که بعداً جامد می‌شوند، غنی‌تر یا فقیرتر از عنصر آلیاژی است. بنابراین، یک عدم یکنواختی در توزیع عنصر آلیاژی در ساختمان قطعه بوجود می‌آید که این پدیده را جدایش می‌نامند. جدایش سبب کاهش بسیاری از خواص قطعه از جمله، خواص مکانیکی نظیر استحکام و سختی می‌شود. بنابراین، برای بالا بردن کیفیت قطعه باید جدایش به طریقی از بین برود، به عبارت دیگر، توزیع عناصر آلیاژی در ساختمان قطعه یکنواخت شود. بهترین راه حذف جدایش، استفاده از عملیات حرارتی برای به دست آوردن ساختمانی هموزن (همگن) است، زیرا در اثر حرارت دادن طی عملیات حرارتی، اتم‌های عنصر آلیاژی فرصت کافی را برای نفوذ و جابه‌جایی پیدا می‌کنند. بنابراین، پس از مدتی، درصد عناصر آلیاژی در قطعه یکنواخت شده و جدایش کاهش یافته یا از بین می‌رود.

۳-۳-۳- ترکیبات بین فلزی: برخی از فلزات می‌توانند با فلزات دیگر در نسبت معین ترکیب شده و یک ترکیب شیمیایی تولید کنند. به ترکیب ایجاد شده، ترکیب بین فلزی می‌گویند؛ مثل Ni_3Al ، که در اثر ترکیب شدن نیکل با آلومینیوم به وجود می‌آید. این ترکیبات معمولاً سخت و شکننده هستند و نقطه ذوب بالا و مقاومت به خوردگی خوبی دارند. نیروهای اتصال اتم‌ها در ترکیبات بین فلزی از نوع پیوندهای فلزی خالص نیست و می‌تواند شامل پیوندهایی از نوع یونی و کووالانسی باشد. به‌طور کلی، خواص ترکیبات بین فلزی بسیار متفاوت از خواص فلزات تشکیل دهنده آن است.

وجود مقدار زیاد ترکیبات بین فلزی در آلیاژ، سبب کاهش خواص مکانیکی آلیاژ مانند استحکام و قابلیت

انعطاف‌پذیری آن می‌شود، زیرا این ترکیبات سخت و شکننده هستند؛ بنابراین، کاربرد آلیاژ را در صنعت محدود می‌کنند. اما اگر ترکیبات بین فلزی به مقدار کم و به‌طور یکنواخت در ساختمان آلیاژ پخش شوند، باعث افزایش خواصی مانند استحکام فلز می‌شوند؛ مانند وجود Fe_3C در فولاد.

ذکر این نکته لازم است که برخی ترکیبات مانند Fe_3C یا سمنتیت، که از ترکیب فلز و غیرفلز به‌وجود آمده است، خواصی مانند ترکیبات بین فلزی دارند و می‌توان آن‌ها را به عنوان ترکیب بین فلزی در نظر گرفت.

۳-۳-۴- نمودارهای فازي: نمودارهای تعادلی انجماد ابزارهای بسیار مهمی برای متالورژها می‌باشد زیرا

با استفاده از آن‌ها می‌توان اطلاعات مفیدی درباره ساختمان آلیاژ، خواص آن و نوع عملیات حرارتی مناسب برای افزایش کیفیت قطعه به‌دست آورد. از طرفی، می‌توان دمای ذوب و انجماد آلیاژهای مختلف چند عنصر را از نمودار تعادلی مربوطه به‌دست آورد و با استفاده از آن دمای مناسب مذاب برای ریخته‌گری آن آلیاژ را مشخص نمود.

با استفاده از نمودار تعادلی آلیاژ می‌توان، نحوه انجماد آلیاژ را مورد بررسی قرار داد، عیوبی نظیر حفره‌های انقباضی، ترک خوردن قطعات در مراحل سرد شدن و میزان سیالیت مذاب را به‌دست آورد و در نتیجه روش‌های جلوگیری از ایجاد عیوب انقباضی و ترک خوردن قطعات را مشخص نمود.

در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب هنرجویان

۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی و ...) از مطالب جلسه قبل

۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

موضوع:

- چگونگی انجماد فلز در قطعات ریختگی

- انقباض حجمی در قطعات ریختگی

- چگونگی انجماد فلزات خالص

برای درک بهتر مفاهیم و کلمه‌های اساسی این جلسه بهتر است سوالاتی درباره‌ی موضوع درس جهت آمادگی ذهنی هنرجویان پرسیده و بحث شود.

۱- به‌نظر شما، مهم‌ترین عامل در تهیه قطعات مرغوب به روش ریخته‌گری کدام است؟

۲- در هنگام انجماد فلز معمولاً چند نوع انقباض ایجاد می‌شود؟

۳- چگونه می‌توان انقباض‌هایی را که در حین انجماد فلز به‌وجود می‌آید جبران کرد؟

۴- انجماد فلزات خالص در قالب به چند صورت انجام می‌شود؟

۳-۴- چگونگی انجماد فلز در قطعات ریختگی

برای تهیه قطعات به روش ریخته‌گری، در گارگاه‌های خوب، تکنیک‌های مختلفی از لحاظ روش ریخته‌گری، نوع قالب، روش و انتقال مذاب، و غیره مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در کارگاه‌های ریخته‌گری کوره‌های مختلفی برای ذوب فلزات استفاده می‌شود و تجهیزاتی مانند بوته، پاتیل، ملاقه برای نگهداری، انتقال و ریختن مذاب به کار گرفته می‌شود. به علاوه، قالب‌های مختلفی برای ریخته‌گری قطعات وجود دارد، مانند قالب‌های ماسه‌ای، فلزی، سرامیکی و غیره که هر کدام در کیفیت مذاب ایجاد شده و در نهایت در کیفیت قطعه تولیدی مؤثر است. هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود با سرد شدن مذاب در داخل قالب انجماد آن شروع شده و پس از مدتی مذاب به‌طور کامل جامد می‌شود. چگونگی انجماد مذاب تأثیر بسیار مهمی بر کیفیت قطعات ریختگی دارد. بنابراین، دانستن چگونگی انجماد فلز برای تولید قطعه ریختگی مرغوب بسیار مهم است. به همین منظور، محققان زیادی پدیده انجماد فلزات را مورد بررسی قرار داده و رفتار فلزات مختلف در حین انجماد را مطالعه کرده‌اند

تا براساس آن، راه‌های تولید قطعه ریختگی مرغوب را شناسایی کنند و در صورت نیاز تمهیدات لازم حین تولید قطعه به روش ریخته‌گری را پیش‌بینی کرده و در نظر گیرند. بنابراین، انجماد فلزات یکی از مهم‌ترین مباحث ریخته‌گری است که تأثیر مستقیم بر کیفیت قطعه ریختگی دارد.

ساده‌ترین روش برای مطالعه و بررسی نحوه انجماد مذاب فلزی در قالب، بررسی نحوه انتقال حرارت در قالب ریخته‌گری می‌باشد. شکل قطعه ریختگی و نوع قالب ریخته‌گری تأثیر بسزایی بر انتقال حرارت مذاب فلز دارد. نحوه انتقال حرارت مذاب فلز معمولاً از سه جنبه بررسی می‌شود که عبارتند از:

الف) قوانین اولیه انتقال حرارت؛ که مشخص می‌شود در هنگام انجماد فلز مذاب در قالب، گرمای

مذاب به کدام یک از روش‌های انتقال حرارت شامل هدایت، جابه‌جایی و تشعشع، به قالب و محیط خارج منتقل می‌شود.

ب) متغیرهای مربوط به شکل و اندازه قطعه ریختگی؛ با توجه به ابعاد قطعه ریختگی، ضخامت قسمت

های مختلف قطعه و فصل مشترک آن قسمت‌ها با جداره قالب می‌توان پیش‌گویی کرد که کدام قسمت قطعه سریع‌تر حرارت خود را از دست داده و منجمد می‌شود؛ مانند گوشه‌های خارجی قطعه و یا کدام قسمت قطعه دیرتر حرارت خود را از دست داده و منجمد می‌شود؛ مانند گوشه‌های داخلی قطعه.

ج) متغیرهای مربوط به قالب و نوع فلز ریختگی؛ که نشان می‌دهد انتقال حرارت در کدام یک از

قالب‌ها بهتر صورت می‌گیرد. بنابراین گرمای مذاب با سرعت بیشتری خارج شده و مذاب سریع‌تر منجمد می‌شود. به عنوان مثال، انتقال حرارت در قالب‌های فلزی نسبت به قالب‌های ماسه‌ای بهتر صورت می‌گیرد؛ بنابراین مذاب فلز سریع‌تر منجمد می‌شود. از طرف دیگر، نوع فلز مذاب نیز در انتقال حرارت مؤثر است؛ مثلاً انتقال حرارت در فلزاتی مانند آلومینیوم و مس به علت ضریب هدایت حرارتی بالاتر و نقطه ذوب کم‌تر، نسبت به فلزاتی مانند آهن، بهتر صورت می‌پذیرد.

با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که چگونگی انجماد فلز بر مرغوبیت قطعات ریختگی مؤثر است. سپس از آن‌جا که، ریخته‌گران همواره به دنبال کاهش تعداد قطعات نامرغوب برگشتی، به علت عیوب ایجاد شده در آن‌ها، می‌باشند، مطالعه و شناخت انجماد فلزات اهمیت بسیاری دارد.

۱-۴-۳- انقباض حجمی در قطعات ریختگی

هنگامی که فلز مذاب منجمد می‌شود، معمولاً حجم آن کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، در قطعه انقباض حجمی رخ می‌دهد. در اثر این کاهش حجم، ممکن است ابعاد قطعه ریختگی کوچکتر از ابعاد مورد نظر شود و یا این کاهش حجم سبب ایجاد حفرات و فضاهای توخالی در قطعه ریختگی شود که به حفره‌های انقباضی موسوم هستند. به همین دلیل، برای تولید یک قطعه ریختگی سالم و با کیفیت مناسب، باید کاهش حجم قطعه ریختگی را به طریقی جبران کرد.

هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، معمولاً انجماد از قسمت‌های نازک‌تر قطعه شروع می‌شود، زیرا انتقال حرارت در قسمت‌های نازک‌تر قطعه به دلیل حجم کم مذاب و سطح تماس زیاد آن قسمت با دیواره قالب، نسبت به انتقال حرارت در قسمت‌های ضخیم‌تر قطعه بهتر صورت می‌گیرد. انجماد قسمت‌های نازک قطعه معمولاً از مجاورت دیواره‌های قالب شروع می‌شود؛ به طوری که یک پوسته جامد در کنار دیواره قالب تشکیل می‌شود. تشکیل پوسته جامد با انقباض همراه است که این انقباض معمولاً با جابه‌جایی مذاب از قسمت‌های ضخیم‌تر قطعه به قسمت‌های نازک‌تر جبران می‌شود. جابه‌جایی مذاب در قسمت‌های مختلف قطعه در حال انجماد، جهت جبران انقباض قسمت‌های مختلف قطعه، تا پایان انجماد ادامه دارد و به این طریق، انقباض قسمت‌های نازک‌تر قطعه در هنگام انجماد، جبران می‌شود. در مرحله آخر انجماد، حجم مذاب باقی مانده نسبت به حجم محفظه قالب کاهش می‌یابد زیرا مذاب جهت جبران انقباض در مراحل اولیه انجماد مصرف شده است و در مراحل آخر، مذاب کافی برای جبران انقباضات ایجاد شده وجود ندارد. بنابراین، در آخرین قسمت قطعه که مذاب منجمد می‌شود، حفره‌ای به وجود می‌آید که اصطلاحاً به آن، حفره انقباضی می‌گویند با توجه به این که حفره انقباضی در آخرین مرحله انجماد به وجود می‌آید، می‌توان نتیجه گرفت که حفره انقباضی در ضخیم‌ترین قسمت قالب یا به عبارت دیگر، در گرم‌ترین نقطه قطعه تشکیل می‌شود. برای جلوگیری از به وجود آمدن حفره انقباض، باید به روشی مذاب اضافی به محفظه قالب وارد شود. به همین منظور، معمولاً در مجاورت قسمت‌های ضخیم یا گرم‌ترین نقاط قطعه، که در آخرین مرحله منجمد می‌شوند، کانالی اضافی از مذاب قرار داده می‌شود تا حفره انقباضی به وجود آمده در آخرین مرحله انجماد را پر کند. به این کانال‌ها، تغذیه می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، سردترین قسمت قطعه ریختگی، قسمت‌های نازک قطعه و جداره خارجی قطعه است که در تماس با دیواره قالب می‌باشد و انتقال حرارت در آن قسمت‌ها سریع‌تر انجام می‌گیرد. از طرف دیگر، گرم‌ترین منطقه در قطعه ریختگی، تغذیه است که در آخرین مرحله انجماد، منجمد می‌شود.

معمولاً فلزات و آلیاژها در هنگام انجماد و سرد شدن قالب کاهش حجم یافته و منقبض می‌شوند؛ به جز فلزاتی مانند بیسموت و بعضی از آلیاژها مانند چدن‌های خاکستری و چدن‌های با گرافیت کروی که در حین انجماد منبسط می‌شود. هنگامی که مذاب فلز سرد می‌شود تا منجمد گردد، سه نوع انقباض در آن اتفاق می‌افتد؛ انقباض مایع، انقباض حین انجماد و انقباض جامد.

انقباض مایع: هنگامی که مذاب فلز سرد می‌شود، دمای آن کاهش می‌یابد و در نتیجه، حجم آن کاهش یافته و منقبض می‌شود. این انقباض در حالت مایع بوده و تا دمای انجماد ادامه می‌یابد.

انقباض حین انجماد: هنگامی که دمای مذاب فلز به نقطه انجماد می‌رسد، اولین ذرات جامد در آن تشکیل می‌شود و با ادامه سرد شدن، به تدریج مقدار جزء جامد افزایش می‌یابد. با توجه به این که حجم جامد ایجاد شده معمولاً از حجم مایع کمتر است، حجم مخلوط جامد و مذاب کاهش یافته و قطعه منقبض می‌شود. این انقباض

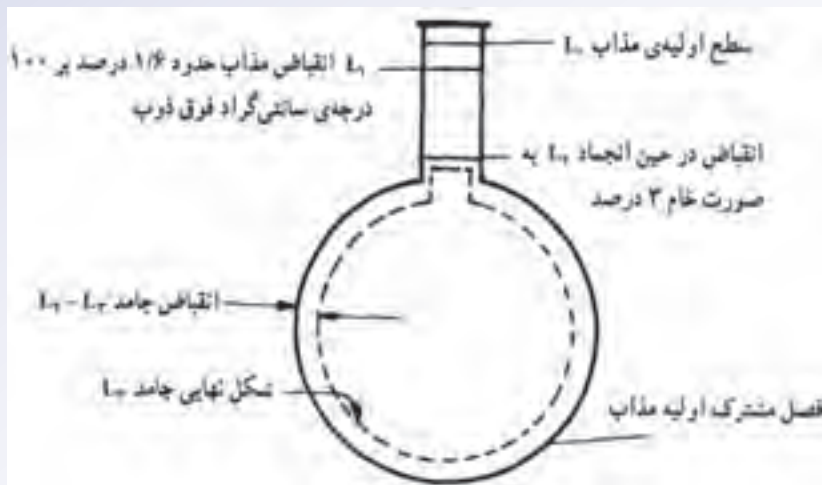
از شروع انجماد تا پایان آن ادامه می‌یابد.

انقباض جامد: هنگامی که مذاب به طور کامل منجمد شد، با ادامه سرد کردن، دمای جامد کاهش می‌یابد و در نتیجه حجم جامد نیز کاهش یافته و منقبض می‌شود. این انقباض از پایان انجماد تا رسیدن دمای فلز به دمای محیط ادامه می‌یابد. به عنوان مثال، مراحل انقباض مذاب فولاد ساده کم کربن در هنگام سرد کردن تا انجماد کامل، در شکل ۳-۱۳ ص ۶۳ کتاب درسی نشان داده شده است.
در شکل ۳-۲۲ مراحل انقباض در یک فولاد ساده کم کربن نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲

همان طور که مشاهده می‌شود در شکل ۳-۲۲، نمودار حجم مخصوص برحسب درجه حرارت رسم شده است. حجم مخصوص کمیته عکس چگالی بوده و برابر با نسبت حجم به جرم قطعه است. در نمودار شکل ...، حجم مخصوص (حجم واحد جرم قطعه) معیار خوبی برای نشان دادن کاهش حجم قطعه در هنگام سرد شدن از حالت مذاب است. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، میزان انقباض (کاهش حجم) در حالت مذاب، حدود ۰/۹ درصد، در حین انجماد ۳ درصد و در حالت جامد ۷/۲ درصد می‌باشد. انقباض در حالت‌های مایع و جامد، به علت کاهش دما و در حین انجماد، به دلیل تغییر ساختمان اتمی هنگام تبدیل مایع به جامد رخ می‌دهد. برای درک بهتر رفتار انقباض فلز، اگر فلز مذاب به جای قالب در بالون شیشه‌ای ریخته شود و به صورت یکنواخت سرد شود، می‌توان سه نوع انقباض در اثر سرد کردن و انجماد مذاب را در آن مشاهده کرد. همان طور که در شکل ... ملاحظه می‌شود، سطح مذاب پس از ریختن در بالن شیشه‌ای، برابر L_1 است. هنگامی که مذاب تا دمای انجماد سرد می‌شود، سطح مذاب از L_1 به L_2 می‌رسد که این کاهش سطح مذاب، نشان‌دهنده میزان انقباضی مذاب در اثر سرد شدن تا دمای انجماد است. بنابراین، میزان انقباض مذاب برابر است با اختلاف سطح L_1 و L_2 می‌باشد؛ یعنی $L_1 - L_2$. شکل ۳-۲۳ سه نوع انقباض فلز مذاب در حین سرد شدن برای انجماد را به طور شماتیک نشان می‌دهد و نشان‌دهنده میزان انقباض مذاب تا قبل از رسیدن به درجه حرارت انجماد است.



شکل ۲۳-۳. نمایش شماتیکی انقباض فولاد ساده کربنی

پس از این که مذاب به دمای انجماد رسید، اولین ذرات جامد به وجود می‌آید و با ادامه سرد شدن، میزان جامد افزایش می‌یابد تا فلز به طور کامل منجمد شود. در این حالت، سطح فلز از L_1 به L_p می‌رسد. این کاهش سطح، یعنی اختلاف در سطح L_1 و L_p ($L_1 - L_p$)، نشان‌دهنده انقباض حین انجماد می‌باشد. ذکر این نکته لازم است که در حین انجماد کاهش سطح سریع انجام می‌شود. پس از پایان انجماد با ادامه سرد شدن تا دمای محیط، جامد شکل گرفته شروع به منقبض شدن می‌کند. بنابراین، سطح فلز کاهش یافته و از L_p به L_p می‌رسد. به عبارت دیگر، قطعه با کاهش دما کوچک‌تر می‌شود. میزان انقباض در حالت جامد برابر با $L_p - L_p$ است.

به عنوان مثال، در مورد فولادهای ساده کم کربن، میزان انقباض در حالت مذاب حدود ۱/۶ درصد به ازای هر صد درجه سلسیوس فوق ذوب می‌باشد و انقباض حاصل از انجماد مذاب حدود ۳ درصد است که به علت تبدیل ساختمان اتمی مایع به جامد رخ می‌دهد.

در مورد چدن‌های خاکستری، انقباض در حالت مایع حدود ۲/۲ درصد برای هر صد درجه سلسیوس فوق ذوب می‌باشد. اما انقباض حین انجماد چدن خاکستری، به عوامل زیادی از جمله مقدار گرافیت، آزاد در چدن و مقدار تغییر شکل و افزایش حجم قالب در حین انجماد قطعه ریختگی بستگی دارد. چدن‌ها معمولاً در مراحل انجماد به جای منقبضی شدن، منبسط می‌شوند. علت این رفتار، هنگام تبدیل مذاب چدن به جامد، تشکیل کربن به صورت آزاد در چدن می‌باشد، که به این نوع کربن، در اصطلاح گرافیت می‌گویند. گرافیت در حالت جامد نسبت به حالت مایع، حجم بیشتری را اشغال می‌کند. بنابراین، با آزاد شدن کربن یا گرافیت در چدن، علاوه بر این که انقباض ناشی از انجماد چدن جبران می‌شود، حجم چدن نیز تا حدودی افزایش می‌یابد که در نهایت، منبسط شدن چدن در حین انجماد می‌شود. اما در فلزات دیگر مانند فولاد، در حین انجماد به علت تبدیل ساختمان اتمی مایع

به ساختمان اتمی جامد انقباض مشاهده خواهد شد.

بنابراین، انقباض‌های ایجاد شده در مراحل سرد شدن مذاب از دمای ریختن تا جامد شدن کامل قطعه، سبب کاهش حجم قطعه می‌شود. بنابراین، این کاهش حجم باید به طریقی جبران شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، در اکثر قطعات ریختگی، جهت جبران کمبود فلز مذاب در اثر انقباض‌های به‌وجود آمده در مراحل سرد شدن مذاب از دمای ریختن تا جامد شدن کامل قطعه، یک کانال اضافی حاوی مذاب به نام تغذیه به‌کار می‌رود. به عبارت دیگر، تغذیه در داخل خود، فلز را به صورت مذاب تا پایان انجماد قطعه، نگهداری می‌کند و می‌تواند کمبود فلز مذاب بر اثر انقباض در حال مایع فلز را جبران نماید. علاوه بر آن، تغذیه می‌تواند حفره‌های انقباضی ایجاد شده در مرحله انجماد را نیز پر نماید.

هنگام سرد کردن قطعه تا دمای محیط، انقباض در حالت جامد سبب کوچک‌تر شدن ابعاد قطعه از اندازه واقعی می‌شود، برای رفع این مشکل، بهتر است محفظه قالب بزرگ‌تر از ابعاد قطعه در نظر گرفته شود تا پس از انقباض قطعه در حالت جامد، قطعه به ابعاد واقعی خود برسد. به همین دلیل، مدل‌ساز باید مدل قطعه را بزرگ‌تر از اندازه واقعی آن بسازد تا قطع جامد ایجاد شده پس از انقباض به ابعاد مورد نظر برسد.

انقباض فلز همچنین ممکن است سبب بروز عیوبی مانند تابیدن قطعه و به‌وجود آمدن ترک‌های حرارتی، در قطعه ریختگی شود. برای جلوگیری از این عیوب، باید انقباض فلز به‌طور دقیق کنترل شود و از طراحی گوشه‌های تیز در قطعه تا حد امکان اجتناب گردد.

۲-۴-۳- چگونگی انجماد فلزات خالص

انجماد مذاب در قالب ریخته‌گری به دو شکل می‌تواند انجام شود؛ انجماد همه‌جانبه و انجماد جهت‌دار

الف) انجماد همه‌جانبه: در این حالت انجماد از دیواره قالب شروع می‌شود. پوسته جامد به تدریج ضخیم

تر شده و حرکت آن به سمت مرکز قطعه ادامه می‌یابد مطابق (شکل ۲۴-۳).



شکل ۲۴-۳- انجماد همه‌جانبه

ب) انجماد جهت‌دار یا کنترل شده: در این حالت، انجماد از دورترین قسمت قالب نسبت به محل ورود

مذاب به محفظه قالب، شروع شده و قشر منجمد شده با گذشت زمان به سمت محل ورود مذاب یا راهگاه پیشروی

می‌کند (مطابق شکل ۲۵-۳)



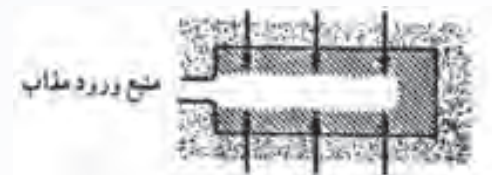
شکل ۳-۲۵- نمای انجماد جهت‌دار

در حالت واقعی، در یک قالب ریخته‌گری هر دو انجماد جهت‌دار و همه‌جانبه می‌تواند اتفاق بیافتد. مثلاً، در شکل ۳-۲۶، که جهت پیشروی جامد (جهت فلش‌ها) به سمت محل ورود مذاب به قالب می‌باشد، انجماد به صورت جهت‌دار است.



شکل ۳-۲۶

اما در شکل ۳-۲۷، که جهت پیشروی جامد در حین انجماد، به سمت مرکز قطعه می‌باشد، انجماد از نوع همه‌جانبه است.



شکل ۳-۲۷

در شکل ۳-۲۸، جامد بوجود آمده هم به سمت محل ورود مذاب به قالب حرکت می‌کند (انجماد جهت‌دار) و هم به سمت مرکز قطعه (انجماد همه‌جانبه). در این حالت، هر دو نوع انجماد همه‌جانبه و جهت‌دار، در قطعه ریختگی اتفاق می‌افتد (شکل ۳-۲۸).

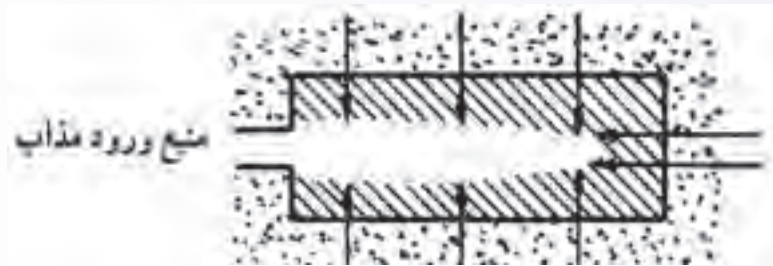


شکل ۳-۲۸

لازم به ذکر است که در سه شکل ۳-۲۵، ۳-۲۶ و ۳-۲۷، فلش‌ها جهت پیشروی فصل مشترک جامد - مذاب را نشان می‌دهند.

زمانی که انجماد به صورت جهت دار است، انجماد از دورترین نقطه نسبت به محل ورود مذاب به قالب شروع شده و فصل مشترک جامد - مذاب به سمت محل ورود مذاب حرکت می کند. در نتیجه، آخرین مذاب موجود در قالب در نزدیکی محل ورود مذاب یا راهگاه منجمد می شود. بنابراین، حفره انقباضی ایجاد شده در اثر انقباض مذاب در حالت مایع و در حین انجماد، در نزدیکی محل ورود مذاب به قالب بوجود می آید. با توجه به این که این حفره ها نزدیک به محل ورود مذاب به قالب است و هنوز در راهگاه مذاب وجود دارد، این حفره ها پُر می شوند و از به وجود آمدن عیب در قطعه جلوگیری می شود.

برای درک بهتر نحوه انجماد، انجماد فلز مذاب را در قالب فلزی به طور عمودی (انجماد شمش) در نظر می گیریم (شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۹- چگونگی ایجاد حفره های انطباقی در یک شمش ریخته‌گی

همانطور که ملاحظه می شود، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می شود، به علت سرد بودن دیواره قالب، مذاب اطراف دیواره شروع به منجمد شدن می کند با گذشت زمان، جامد تشکیل شده به طرف مرکز قالب، که گرم ترین نقطه قالب است، حرکت می کند. معمولاً دو نوع حفره انقباضی در قطعه به وجود می آید که عبارتند از: حفره انقباضی بزرگ در قسمت بالایی قطعه (انقباض مرکزی) و حفره های انقباضی ریز که در مرکز قطعه بوجود می آیند (انقباض ثانویه). این حفره های انقباضی در اثر انقباض ایجاد شده در مذاب و حین انجماد به وجود می آیند. اگر مذاب بتواند از قسمت های بالایی قطعه به سمت قسمت های پایین تر قطعه جریان پیدا کند، حفره های انقباضی ایجاد شده در مرکز قطعه از مذاب پُر شده و از بین می روند. جلوگیری از انقباض ثانویه به طراحی صحیح قطعه و قالب ریخته گری بستگی دارد؛ زیرا، در صورت طراحی نادرست، کریستال های جامد تشکیل شده در مذاب از دیواره به سمت مرکز قطعه به گونه ای پیشرفت می کنند که هنگام رسیدن آن ها به یکدیگر، ارتباط بین مذاب قسمت های بالایی قطعه و قسمت های مرکزی قطعه، قطع می شود، مذاب نمی تواند به قسمت های مرکزی قطعه برسد و حفره های انقباضی ایجاد شده را پُر کند و مرکز قطعه بدون رسیدن مذاب از قسمت های بالایی، که مانند تغذیه عمل می کند، جامد می شوند.

در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.