

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون (به صورت پرسش و پاسخ شفاهی، امتحان کوتاه و غیره)

۳- یادآوری مطالب درس جلسه قبل و ارتباط آن با موضوع این جلسه

### موضوع درس:

- ضریب انبساط حرارتی

- تغییرات ابعادی در ذرات و انجماد،

- چگالی (جرم حجمی)

- انتقال حرارت

ابتدا هنرآموز برای شروع بحث و آماده سازی ذهن هنرجو، چند سوال مطرح کند.

۱- اگر به یک جسم جامد گرما داده شود، طول سطح و جسم آن چه تغییری می کند؟

۲- اگر به مایعات و گازها گرما داده شود، حجم آن ها چه تغییری می کند؟

۳- هنگامی که فلز آلومینیوم را ذوب می کنیم، حجم آن چگونه تغییر می کند، در مورد فلزات دیگر نظرتان

را بگویید (مثل آهن، مس).

۴- هنگامی که مذاب یک فلز درون قالب ریخته می شود، با شروع انجماد چه تغییراتی در حجم ایجاد خواهد

شد؟

۵- اگر حجم مساوی از دو فلز سرب و آلومینیوم را داشته باشیم، جرم کدام یک بیشتر است؟

۶- بخاری، چگونه سبب گرم شدن هوا در یک اتاق می شود؟

۷- انرژی گرمایی خورشید به چه طریقی به زمین منتقل می شود؟

۸ - چرا با گرما دادن به یک قسمت از فلز جامد، پس از گذشت زمان، دما در تمام قسمت های فلز یکسان

خواهد شد؟

### ۱-۴- انبساط گرمایی

زمانی که به مواد گرما داده می شوند، گرما سبب افزایش انرژی اتم های مواد شده و ارتعاش آن ها را افزایش

می دهد. این پدیده سبب افزایش فاصله بین اتم ها و در نتیجه تغییرات ابعادی، هر چند کوچک، در مواد می شود.

این تغییرات ابعادی را، انبساط می نامند و به صورت طولی (یک بعدی) سطحی (دو بعدی) و حجمی (سه بعدی)

دیده می شود.

معمولاً انبساط اجسام جامد بسیار کم می‌باشد به دلیل این که در اثر حرارت دادن افزایش فاصله بین اتم‌ها در محل‌های مشخصی قرار گرفته‌اند، ناچیز می‌باشد که در مجموع مقدار تغییرات ابعاد جسم در اثر حرارت دادن بسیار کم خواهد بود.

چون اتم‌ها در جسم جامد در محل‌های مشخصی قرار گرفته‌اند و با دادن گرما به جسم جامد، فاصله بین اتم‌ها به مقدار خیلی کم افزایش می‌یابند که موجب تغییرات ابعادی ناچیزی در جسم جامد می‌شود. در مایعات و گازها چون اتم‌ها نسبت به حالت جامد، آزادانه در اطراف یکدیگر حرکت می‌کنند، تغییرات ابعادی، که معمولاً به صورت حجمی می‌باشد، با افزایش دما، بیشتر خواهد بود؛ در نتیجه، مقدار انبساط آن‌ها از اجسام جامد بیشتر است.

در مورد اجسام جامد، چون ابعاد آن‌ها قابل اندازه‌گیری است، می‌توان انبساط طولی، سطحی و حجمی آن‌ها را اندازه‌گیری و محاسبه نمود، اما در اجسام مایع و گاز، به دلیل نداشتن شکل مشخص معمولاً انبساط حجمی تعریف می‌شود.

با توجه به موارد ذکرشده، می‌توان مقدار انبساط و انقباض را در حالت ذوب فلزات و انجماد قطعات ریخته‌گری شده مشخص نمود که از پارامترهای مهم در طراحی قطعات، مدل و قالب ریخته‌گری می‌باشد.

## ۵-۱- تغییرات ابعادی در ذوب و انجماد

میزان انبساط مواد جامد و مایع را می‌توان از روابط تجربی به دست آورد.

$$\Delta L = L_1 (1 + \alpha(\theta_p - \theta_1))$$

انبساط طولی مواد جامد از رابطه زیر به دست می‌آید.  
که در آن:

$L_1$ : طول اولیه جسم

$\theta_1$ : دمای اولیه جسم

$\theta_p$ : درجه حرارت بعد از حرارت دادن جسم

$\alpha$ : ضریب انبساط گرمایی طولی جسم که به جنس ماده بستگی دارد.

$\Delta L$ : میزان تغییرات طول در اثر تغییر دما

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta L = L_1 + L_1 \alpha (\theta_p - \theta_1)$$

که در آن:

$L_1$  و  $L_1 \alpha$ : مقادیر ثابتی هستند و می‌توان با  $a$  و  $b$  نشان داد.

$\Delta L$ : میزان انبساط است که مجهول رابطه است و می‌توان با  $X$  نشان داد.

$(\theta_r - \theta_1)$ : تغییرات دما است که می‌توان با  $T$ ، که متغیر است، نشان داد.

پس به‌طور کلی رابطه انبساط طولی اجسام جامد را می‌توان به‌شکل عمومی زیر نوشت:

$$X = a + bT$$

که در آن:

$X$ : تغییرات طولی

$a, b$ : ضرایب ثابت

$T$ : دما

در نتیجه، رابطه انبساط طولی با دما در اجسام جامد به‌صورت خطی می‌باشد.

- انبساط سطحی جامدات از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta A = A_0 (1 + \beta(\theta_r - \theta_1))$$

که در آن:

$A_0$ : سطح اولیه جسم

$\theta_1$ : دمای اولیه جسم

$\theta_r$ : دمای نهایی جسم جامد

$\beta$ : ضریب انبساط گرمایی سطحی جسم جامد که دو برابر ضریب انبساط طولی ( $\beta = 2\alpha$ ) می‌باشد.

$\Delta A$ : تغییرات سطح جسم در اثر تغییرات دما

این رابطه را نیز می‌توان به‌صورت کلی  $X = a + bT$  مانند انبساط طولی جامدات نشان داد.

- انبساط حجمی جامدات از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta V = V_0 (1 + \gamma (\theta_r - \theta_1))$$

که در آن:

$V_0$ : حجم اولیه جسم

$\theta_1$ : دمای اولیه جسم جامد

$\theta_r$ : دمای نهایی جسم جامد

$\gamma$ : ضریب انبساط گرمایی حجمی جسم جامد که سه برابر ضریب انبساط طولی آن ( $\gamma = 3\alpha$ )

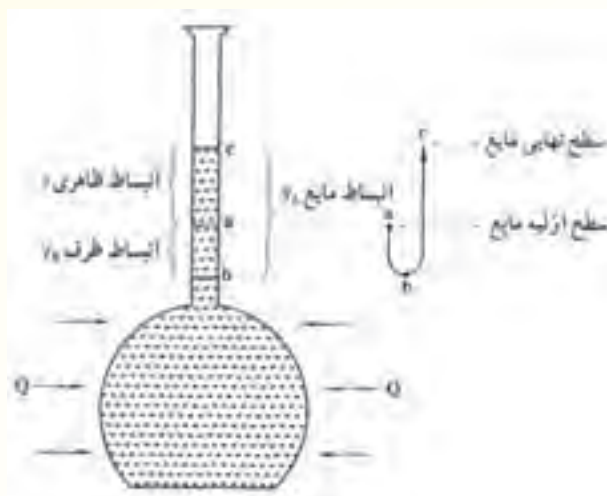
می‌باشد.

$\Delta V$ : تغییرات حجم در اثر تغییرات دما

این رابطه را نیز می‌توان مانند روابط قبل به‌صورت کلی  $X = a + bT$  نشان داد.

در نتیجه رابطه انبساط سطحی و حجمی با دما در اجسام جامد به‌صورت خطی می‌باشد.

- در مورد مایعات نیز می‌توان گفت به‌طور کلی انبساط حجمی مایعات از رابطه تقریبی  $X = a + bT$  به دست می‌آید. البته ذکر این نکته لازم است که چون مایعات، شکل ظرف را به خود می‌گیرند در اثر گرما دادن، ظرف نیز منبسط می‌شود. این موضوع سبب به‌وجود آمدن دو نوع انبساط در مایع می‌شود، انبساط ظاهری مایع و انبساط حقیقی مایع، انبساط ظاهری به علت انبساط ظرف ایجاد می‌شود ابتدا سطح مایع در ظرف کمی پایین آمده و سپس با انبساط مایع، مجدداً سطح مایع در ظرف بالا می‌رود. فاصله بین سطح نهایی مایع و سطح اولیه مایع قبل از انبساط، انبساط ظاهری مایع است و باید برای به‌دست آوردن انبساط حقیقی مایع، مقدار انبساط ظرف را به انبساط ظاهری مایع اضافه نمود.



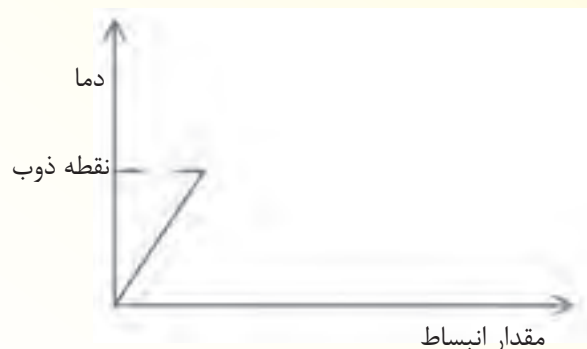
شکل ۹-۱- تعیین انبساط حقیقی مایع

اجسام در نقطه ذوب، با افزایش دما جسم جامد به مایع تبدیل می‌شود و برعکس. با کاهش دما جسم مایع به جامد تبدیل می‌شود؛ به عبارت دیگر با افزایش دما انرژی اتم‌ها و در نتیجه ارتعاش آن‌ها بیشتر می‌شود؛ به طوری که اتم‌ها از محل‌های خود در حالت جامد خارج شده و به شکل مایع درمی‌آیند. عکس این حالت با کاهش دما در نقطه ذوب، اتفاق می‌افتد؛ یعنی ارتعاش اتم‌ها در نتیجه فاصله بین اتم‌ها کم شده و اتم‌ها در موقعیت مشخصی کنار هم قرار می‌گیرند که در مجموع به شکل جامد درمی‌آیند. انبساط یا انقباض حجمی این حالت از نقطه ذوب یا انجماد از روابط ذکر شده در صفحات قبل تبعیت نمی‌کنند و حالت پیچیده‌تری دارند که علت آن تغییرات ساختمان اتمی فلز می‌باشد.

به‌طور کلی فلزات یا آلیاژها، در حین ذوب منبسط می‌شوند و حجم آن‌ها افزایش می‌یابد. معمولاً تغییرات حجمی ایجاد شده در حین ذوب فلزات در سه منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ منطقه جامد، منطقه جامد و مایع و منطقه مایع.

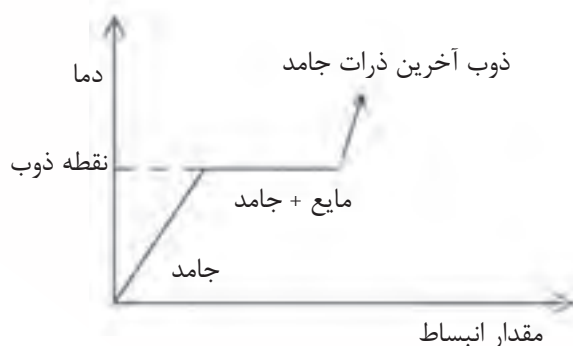
**منطقه اول (منطقه جامد):** هنگامی که به فلز گرما داده می‌شود، تا قبل از رسیدن به نقطه ذوب، با افزایش

دما فلز انبساط پیدا می کند که این انبساط، همان طور که گفته شد، از روابط فیزیک انبساط پیروی می کند و به راحتی می توان آن را، با توجه به این که جسم جامد است شکل و حجم مشخصی دارد محاسبه نمود. برای این منظور می توان دما را برحسب مقدار انبساط فلز جامد تا نقطه ذوب به صورت زیر نمایش داد.



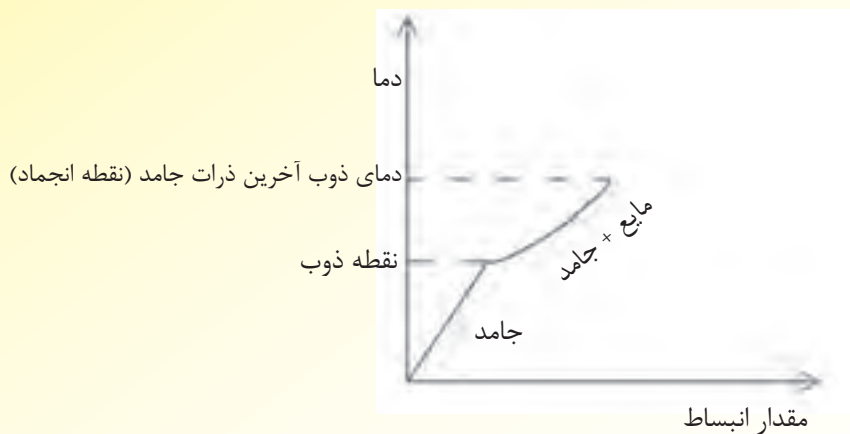
شکل ۱-۱۰

**منطقه دوم (منطقه جامد و مایع):** با توجه به توضیحات قبل مقدار انبساط ایجاد شده، در هنگام ذوب به شکل ساختمان اتمی در حالت جامد و مایع بستگی دارد و از روابط معمول فیزیک انبساط پیروی نمی کند. آزمایش های تجربی نشان داده است که معمولاً فلزات و آلیاژها در این منطقه ۲ تا ۸ درصد انبساط می یابند. البته در مورد فلزات خالص، این انبساط، به دلیل ثابت ماندن دمای فلز خالص در حین ذوب و انجماد، در دمای ثابت انجام می گیرد که منحنی دما برحسب مقدار انبساط در مورد فلز خالص تا ذوب آخرین ذرات جامد به شکل زیر خواهد بود.



شکل ۱-۱۱

در مورد آلیاژها، چون دما در حین ذوب افزایش می یابد، انبساط نیز در حین ذوب با افزایش دما همراه است و در دما ثابت انجام نمی گیرد؛ بنابراین، منحنی دما برحسب انبساط آلیاژها در منطقه دوم به صورت زیر خواهد بود.

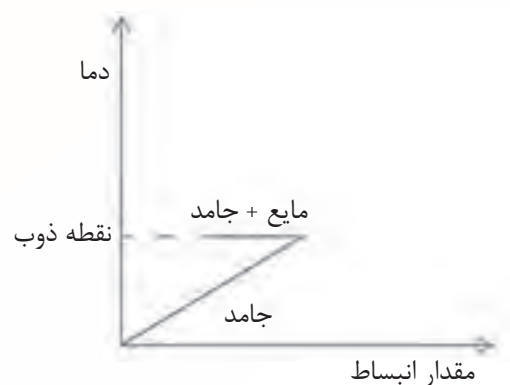


شکل ۱-۱۲

در تعداد کمی از فلزات و آلیاژها به دلیل ساختمان اتمی آن‌ها در حین ذوب، در منطقه جامد و مایع، به جای انبساط، انقباض می‌یابند.

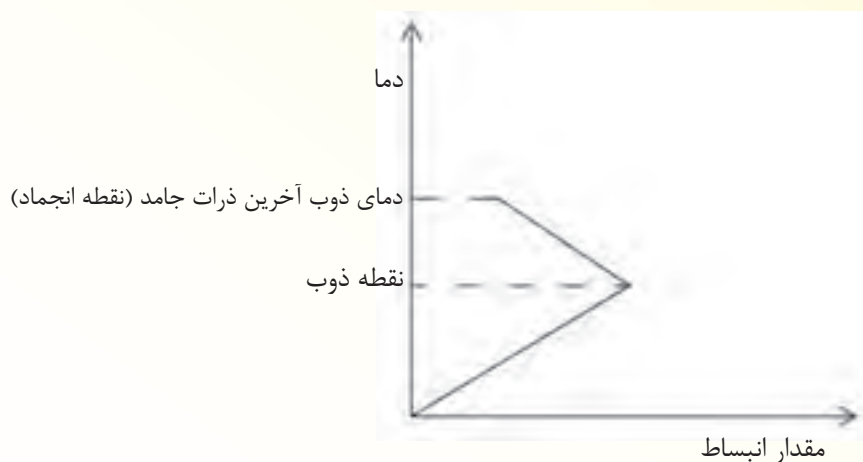
از جمله این مواد می‌توان به بیسموت، آنتیموان، چدن خاکستری و یخ اشاره نمود که در حین ذوب به جای انبساط، منقبض می‌شوند. به عنوان مثال اتم‌های یخ در حین ذوب، از محل‌های خود در ساختار کریستال یخ خارج شده، به شکل مایع درآمده و در فضای خالی بین ساختار کریستالی یخ تجمع می‌یابند که همین پدیده، سبب کاهش حجم در حین ذوب یخ می‌شود. چدن خاکستری در حین ذوب، اتم‌های کربن موجود در گرافیت از ساختار کریستالی گرافیت خارج شده و در آهن مذاب حل می‌شوند. چون گرافیت در حالت جامد به دلیل ساختار لایه‌لایه‌ای، دارای حجم زیاد است در حین ذوب چدن خاکستری، مقدار انبساطی که آهن مذاب پیدا می‌کند با کاهش حجم ناشی از بین رفتن ساختار کریستالی گرافیت جبران شده و در مجموع در حین ذوب انقباض حجمی را از خود نشان می‌دهد.

در مورد فلزات خالص، که در حین انجماد منقبض می‌شوند، منحنی دما برحسب انبساط به صورت زیر خواهد بود. ذکر این نکته لازم است که چون فلزات خالص در دمای ثابت ذوب می‌شوند، انقباض در فلز خالص نیز در دمای ثابت صورت می‌گیرد.



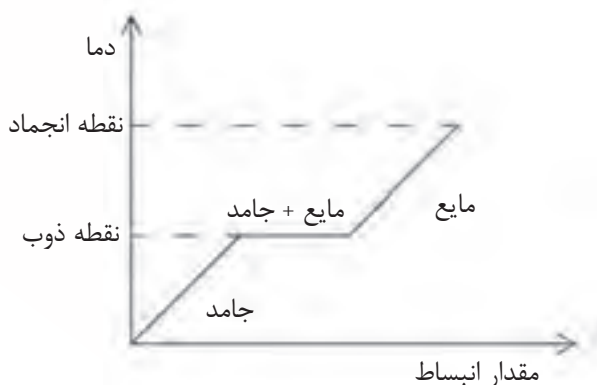
شکل ۱-۱۳

در مورد آلیاژهایی که در حین ذوب، منقبض می‌شوند منحنی دما برحسب انبساط به صورت زیر خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در انقباض، دما ثابت نبوده و افزایش می‌یابد.



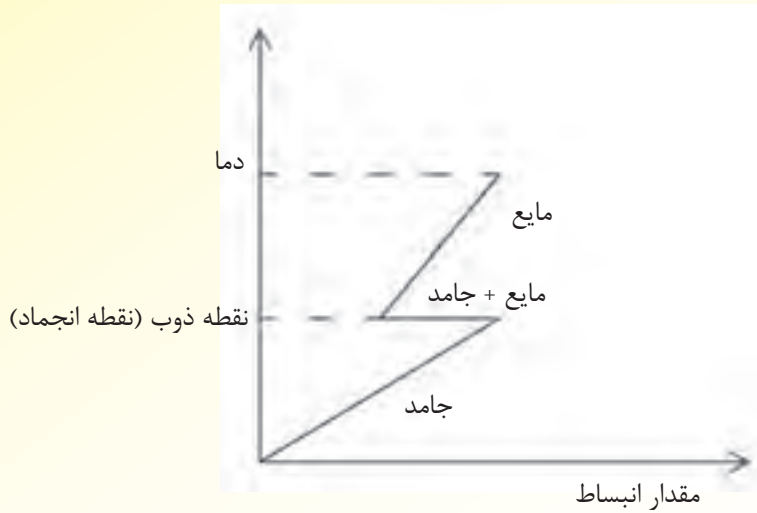
شکل ۱-۱۴

**منطقه سوم (منطقه مایع):** در این منطقه با افزایش دما، همان‌طور که در قبل گفته شد، حجم مذاب افزایش می‌یابد که این انبساط (افزایش حجم) از روابط فیزیکی انبساط پیروی می‌کند؛ بنابراین در منطقه مایع منحنی دما برحسب مقدار انبساط برای فلزات خالص معمولی به صورت زیر خواهد بود.



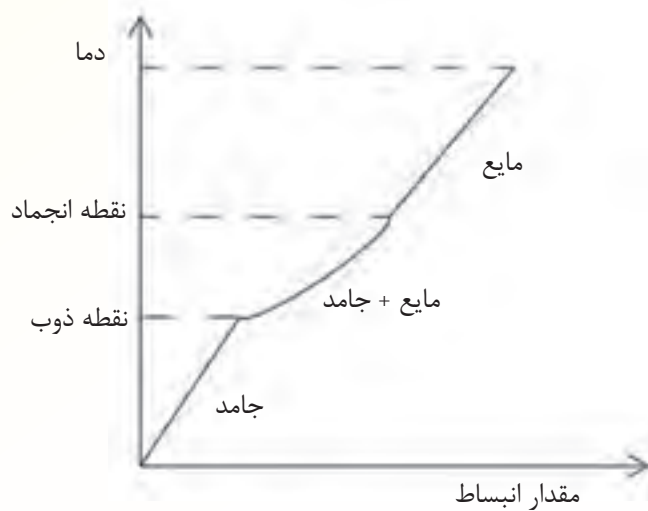
شکل ۱-۱۵

در مورد فلزات خالصی که در حین ذوب منقبض می‌شوند؛ در منطقه مایع منحنی دما برحسب مقدار انبساط، به صورت زیر خواهد بود، در این منحنی مشخص است که با افزایش دما در حالت مایع حجم مایع افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر منبسط می‌شود.



شکل ۱-۱۶

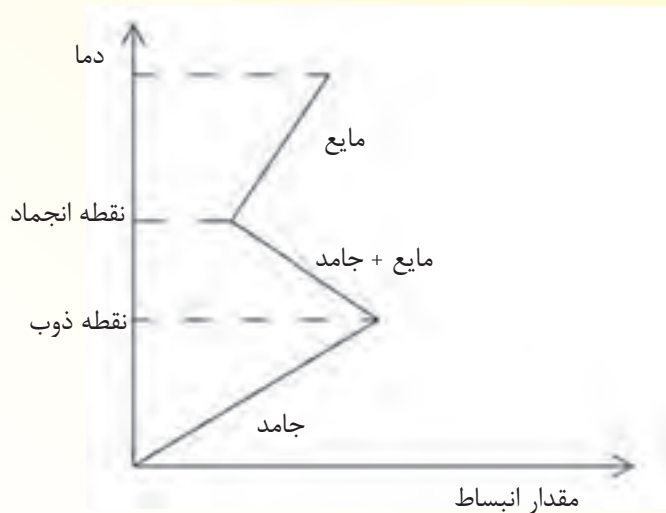
در مورد آلیاژهای معمول منحنی دما برحسب مقدار انبساط در منطقه مایع به شکل زیر خواهد بود، در این منحنی مشخص است که حجم مایع با افزایش دما افزایش می‌یابد یا به عبارت دیگر منبسط می‌شود.



شکل ۱-۱۷

در مورد آلیاژهایی که در حین ذوب منقبض می‌شوند، منحنی دما برحسب مقدار انبساط در منطقه مایع به شکل زیر خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در منطقه مایع با افزایش دما، مقدار انبساط افزایش می‌یابد.





شکل ۱-۱۸

معمولاً در هنگام ریخته‌گری قطعات لازم است، پس از ذوب کامل جامد، دمای مذاب را افزایش داد تا مذاب در حین حمل و نقل و جابه‌جایی منجمد نشود. از طرف دیگر، باید مذاب در هنگام ریختن به داخل قالب از روانی خوبی برخوردار باشد. که به این دمای مذاب که بالاتر از نقطه ذوب می‌باشد دمای فوق ذوب می‌گویند. که در ریخته‌گری بسیار مهم است.

معمولاً در ریخته‌گری قطعات، مسائل مربوط به انقباض فلز و مذاب آن در مراحل ذوب اهمیت چندانی ندارد و فقط برای جبران نمودن فضاهای خالی بوته‌ی ریخته‌گری و کوره می‌باشد. اما، مهم‌ترین موضوع در ریخته‌گری قطعات، مقدار انقباض یا تغییرات حجمی قطعه در مراحل مختلف سرد شدن مذاب می‌باشد در صورت عدم توجه به این مهم، قطعه تولید شده، معیوب و یا خارج از محدوده ابعادی موردنظر خواهد بود. معمولاً محفظه قالب که مذاب در آن شکل قطعه را به خود می‌گیرد، حجم ثابتی دارد. که با گذشت زمان مذاب ریخته شده در قالب با دمای فوق ذوب، گرمای خود را از دست می‌دهد و شروع به سرد شدن می‌کند. این کاهش دما یا انقباض در مراحل مختلف مذاب، مذاب + جامد و جامد همراه خواهد بود. در صورتی که این انقباضات جبران نشود، قطعه تولید شده معیوب خواهد بود. بنابراین، مهم‌ترین کار ریخته‌گران، جبران انقباضات در حین ریخته‌گری می‌باشد. به همین منظور، در این قسمت به بررسی چگونگی انقباضها در مراحل انجماد قطعه ریخته‌گری پرداخته می‌شود. معمولاً، انجماد قطعه ریخته‌گری مانند مراحل ذوب فلز از سه منطقه تشکیل شده است که عبارتند از منطقه مایع، منطقه جامد و مایع و منطقه جامد.

**۱-۵-۱- منطقه مایع:** اگر مذاب فلزی با دمای فوق ذوب داخل قالبی ریخته شود، پس از گذشت مدت زمانی (بسته به جنس قالب)، مذاب به تدریج گرمای خود را از دست می‌دهد. از دست دادن گرما یا همان سرد

شدن مذاب، سبب کاهش دمای مذاب و در نتیجه کاهش حجم مذاب یا انقباض مذاب خواهد شد. این انقباض در حالت مایع تا دمای انجماد اتفاق می‌افتد. حال اگر این انقباض به طریقی جبران نشود، سبب به‌وجود آمدن قطعه‌ای معیوب و خارج از محدوده ابعادی مورد نیاز می‌شود.

چون این انقباض در حالت مذاب یا مایع است، بهترین راه جبران این انقباض، اضافه نمودن مجدد مذاب به قالب است. این کار را می‌توان با تنظیم سرعت بارریزی به قالب، به‌طوری که افت دمای مذاب متناسب با پرشدن قالب باشد، انجام داد. به همین منظور، باید سیستم راهگامی متناسب، طراحی شود.

**۲-۵-۱- منطقه جامد و مایع:** پس از این که مذاب به دمای انجماد رسید، اولین ذرات جامد شروع به تشکیل شدن می‌کنند. سپس این ذرات، شروع به رشد می‌کنند. این عمل، تا زمانی که آخرین قطره مذاب به جامد تبدیل شود ادامه می‌یابد. در این مرحله، ذرات جامد و مایع در حال تعادل هستند و نمی‌توان به آن‌ها مذاب اضافه نمود. تبدیل ساختار مایع به ساختار جامد، انقباضی به‌وجود می‌آید که در یک نقطه متمرکز نمی‌شود، بلکه در سراسر قطعه پراکنده می‌گردد همان‌طوری که گفته شد این انقباض را نمی‌توان با اضافه نمودن مذاب، به‌طور مستقیم جبران نمود، باید از روش‌های دیگری بهره برد. با توجه به تجربیات گذشته، برای جبران این نوع انقباض، ابتدا باید نحوه انجماد آن آلیاژ مشخص شود و سپس متناسب با قطعه و قالب، سیستم تغذیه‌گذاری مناسب برای قالب طراحی شود.

**۳-۵-۱- منطقه جامد:** پس از این که، آخرین قطرات مذاب منجمد شد با گذشت زمان، دمای قطعه جامد شروع به کاهش می‌کند. با کاهش دما، انقباض در حالت جامد به‌وجود می‌آید که این انقباض، متناسب با روابط فیزیکی است و تا دمای محیط ادامه می‌یابد، این انقباض سبب کاهش ابعاد قطعه می‌گردد و در صورت عدم جبران، ابعاد قطعه حاصله، خارج از این خواسته شده خواهد بود. کاهش ابعاد این مرحله را نمی‌توان با اضافه نمودن مذاب جبران نمود. چون قطعه کاملاً جامد است و نمی‌توان به آن مذاب اضافه نمود. برای جبران این انقباض، باید مدل قطعه را متناسب با جنس قطعه، بزرگتر از اندازه واقعی آن در نظر گرفت تا در حین سرد شدن و منقبض شدن، ابعاد قطعه برابر ابعاد واقعی مورد نیاز گردد.

حال، با توجه به مطالب ذکر شده، مشخص می‌شود که برای تولید یک قطعه‌ی سالم با استفاده از روش ریخته‌گری باید به انقباض در کلیه مراحل ریخته‌گری، طراحی و مدلسازی، تکنولوژی قالب و نحوه انجماد مذاب فلز موردنظر، توجه ویژه داشت و اثر دمای فوق ذوب، ترکیب شیمیایی آلیاژ و نحوه انجماد آن را بر میزان انقباض و اشکالاتی که از آن ناشی می‌شود، در نظر گرفت.

## ۱-۶- چگالی (جرم حجمی)

جرم واحد حجم جسم را چگالی می‌نامند. واحدهای چگالی عبارتند از گرم بر سانتی‌متر مکعب و کیلوگرم

بر متر مکعب. معمولاً چگالی هر ماده خالص مقدار ثابتی است که به ساختمان (ساختار) داخلی آن ماده و شکل هندسی آن ارتباط می‌یابد. بنابراین، تأثیر عوامل فیزیکی مانند دما، فشار و عوامل شیمیایی مانند ترکیب شیمیایی آلیاژ در تغییرات چگالی مشخص است.

افزایش دما، سبب انبساط اجسام (مایع و جامد) و در نتیجه افزایش حجم آن‌ها می‌شود. با توجه به این که جرم اجسام (مایع و جامد) ثابت می‌باشد، چگالی، که حاصل تقسیم جرم بر حجم جسم می‌باشد، کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، کاهش دما، سبب کاهش حجم جسم و در نتیجه افزایش چگالی خواهد شد. این پدیده در اکثر اجسام به غیر از چند مورد خاص اتفاق می‌افتد.

## ۷-۱- انتقال گرما

اجسام به‌طور کلی، در طبیعت در حالت تعادل گرمایی با محیط اطراف خود هستند؛ به عبارت دیگر، اجسامی که دمای بالاتری نسبت به محیط اطراف خود دارند، گرمای خود را از دست می‌دهند تا با محیط اطراف خود هم‌دما شوند. همین‌طور اگر دمای جسم کمتر از محیط اطراف باشد. از محیط اطراف خود گرما می‌گیرد تا دمای آن به دمای محیط برسد. به عنوان مثال، اگر یخ صفر درجه سلسیوس در دمای محیط قرار گیرد، از محیط اطراف خود گرما می‌گیرد تا ذوب شود و به آب صفر درجه تبدیل شود؛ سپس دمای آن افزایش می‌یابد تا به دمای محیط برسد. این عمل انتقال گرما نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که انتقال گرما، فقط بین جسم و طبیعت نیست، بلکه اگر دو جسم با دماهای مختلف کنار هم قرار گیرند یا دمای یک قسمت از جسم با سایر قسمت‌ها متفاوت باشد، انتقال گرما صورت می‌پذیرد.

اجسام از نظر انتقال گرما به سه دسته تقسیم می‌شوند؛ اجسامی که حرارت خود را به سایر قسمت‌ها و یا اجسام دیگر انتقال می‌دهند، اجسام هادی نامیده می‌شوند مانند فلزات. اجسامی نظیر چوب و پلیمرها که نمی‌توانند حرارت را انتقال دهند اجسام عایق نامیده می‌شوند. مواد و ترکیبات بسیاری وجود دارند که نه هادی هستند و نه کاملاً عایق؛ بلکه در حد فاصل جسم هادی و عایق قرار می‌گیرند و بخشی از گرمای خود را منتقل می‌کنند. این اجسام نیمه‌هادی نامیده می‌شوند سیلیسیم و ژرمانیوم نمونه‌هایی از این مواد هستند.

گرما معمولاً به سه طریق از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. این سه طریق عبارتند از: هدایت، جابه‌جایی و تشعشع. با ذکر یک مثال هدایت را توضیح می‌دهیم.

اگر ابتدای یک میله آلومینیومی را روی شعله قرار دهیم، مشاهده می‌شود که به تدریج تمام قسمت‌های این میله گرم می‌شود؛ به طوری که پس از مدتی تمام میله گرم خواهد شد. می‌توان گفت انرژی گرمایی توسط اتم‌های آلومینیوم از ابتدای میله منتقل شده و به انتهای میله می‌رسد. این انتقال گرما به‌گونه‌ای است که اتم‌ها از جای خود حرکت نمی‌کنند، بلکه فقط در اثر انرژی گرمایی، ارتعاشات آن‌ها افزایش می‌یابد و این ارتعاشات را

به اتم‌های کناری خود منتقل می‌کند؛ این نوع انتقال گرما را هدایت می‌نامند.

در روش انتقال گرما به‌روش جابه‌جایی، قسمت گرم (گرمای بیشتر) و قسمت سرد (گرمای کمتر) جای خود را تعویض می‌کنند. این جابه‌جایی تا زمانی که تمام قسمت‌های جسم به یک دما (دمای تعادل) برسند ادامه می‌یابد. در حقیقت انتقال گرما به روش جابه‌جایی، همراه با انتقال ذرات جسم است که بیشتر برای مایعات و گازها امکان‌پذیر است.

به عنوان مثال نحوه گرم شدن اتاق توسط بخاری را می‌توان نمونه‌ای از انتقال گرما به روش جابه‌جایی در نظر گرفت.

در روش انتقال گرما به روش تشعشع، انرژی گرمایی به‌صورت امواجی با ماهیتی نظیر ماهیت امواج نورانی منتقل می‌شود. در این روش، انرژی گرمایی مانند انرژی نورانی برای نشر، نیازی به محیط مادی ندارد و در خلاء بهتر و سریع‌تر منتشر می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان گرم شدن زمین در اثر تابش نور خورشید را نام برد. در کوره‌های ذوب و ریخته‌گری پدیده‌ی انتقال گرما از سه طریق فوق انجام می‌پذیرد؛ انتقال گرما از طریق امواج نورانی شعله، انتقال گرما از طریق هدایت درون شارژ کوره و انتقال گرما از طریق جابه‌جایی در داخل مذاب، هنگامی که بوت‌ه حرارت داده می‌شود، اما در حالت انجماد قطعات درون قالب، تنها روش انتقال گرما برای خارج کردن گرمای مذاب، هدایت از طریق دیواره‌های قالب می‌باشد.

### 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

۲- آزمون (به صورت تشریحی، پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری مطالب درس جلسه قبل و ذکر ارتباط آن با موضوع این جلسه

موضوع:

- گران روی (ویسکوزیته)

- کشش سطحی

- فشار بخار

- سیالیت و عوامل مؤثر بر آن

ابتدا چند سوال جهت آمادگی ذهنی هنرجو توسط هنرآموز مطرح می‌شود؛ به طور مثال:

۱- اگر دوظرف به ترتیب یکسان حاوی آب و روغن باشد، و بخواهیم آن‌ها را تخلیه نماییم کدام ظرف

سریع تر تخلیه می‌شود.

۲- اگر دوظرف حاوی روغن و چسب مایع داشته باشیم، کدام یک سریع تر تخلیه می‌شود؟ چرا؟

۳- اگر سوزن را به آهستگی روی آب قرار دهیم آیا در آب فرو می‌رود و یا در روی سطح آب باقی می‌ماند

چرا؟

۴- اگر یک ظرف حاوی آب در اتاقی با دمای محیط قرار گیرد، پس از چند روز سطح آب پایین می‌رود اما

اگر همین ظرف در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  قرار گیرد بعد از مدت کوتاهی سطح آب در ظرف پایین می‌رود. علت چیست؟

۵- اگر یک قالب را بخواهیم با فلز مذاب، آب یا روغن پر کنیم، به نظر شما به ترتیب کدام یک از مواد ذکر

شده بهتر قالب را پر می‌کند. علت چیست؟

۸-۱- گران روی (ویسکوزیته)

در مورد سوال اول، تخلیه آب از ظرف نسبت به تخلیه روغن از ظرف، راحت تر و سریع تر انجام می‌شود.

این رفتار به ماهیت درونی سیال ارتباط پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه قدر چسبندگی اجزای یک سیال

(مولکول‌ها یا اتم‌ها) بیشتر باشد، تخلیه آن سیال از ظرف مشکل تر است. بنابراین، از آن جا که چسبندگی اجزای

درونی روغن نسبت به آب بیشتر است، تخلیه روغن سخت تر از آب صورت می‌گیرد. به همین ترتیب تخلیه چسب

از ظرف، نسبت به روغن، مشکل تر است. این خاصیت سیال را گران روی یا ویسکوزیته می‌نامند. به عبارت دیگر،

اصطکاک درونی سیال را ویسکوزیته یا گران روی می‌نامند.

در فرایند ریخته‌گری، پرشدن کامل قالب توسط مذاب اهمیت بسیاری دارد. با توجه به مطالب فوق، هرچه ویسکوزیته مذاب کم‌تر باشد، قالب راحت‌تر پر خواهد شد؛ و برعکس، هرچه قدر ویسکوزیته مذاب بیشتر باشد، پرشدن قالب طولانی‌تر و مشکل‌تر خواهد بود. به همین دلیل ویسکوزیته مذاب در طراحی سیستم راهگامی قالب اهمیت بسیار زیادی دارد. در کاربردهای عملی ریخته‌گری به‌جای ویسکوزیته، که یک ویژگی فیزیکی است، از ویژگی دیگری به نام سیالیت یا روانی مذاب استفاده می‌شود.

## ۹-۱- کشش سطحی

اگر یک جسم با وزن بسیار ناچیز، مانند سوزن یا پر، به آرامی روی آب قرار داده شود، در آب فرو نمی‌رود و روی سطح آب باقی می‌ماند. علت این پدیده، نیروهای چسبندگی بین مولکول‌های سطحی آب می‌باشد. این نیروهای چسبندگی برون سوزن یا پُر غلبه کرده و از ورود آن به داخل آب جلوگیری می‌کند. عاملی که سبب می‌شود سطح یک قطره آب روی سطحی آغشته به روغن به‌صورت محدب باقی بماند، همین نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب است. به‌طور کلی، کشش سطحی در یک لایه از مایع را می‌توان نسبت نیروی سطحی ( $F$ ) به طول مؤثر ( $L$ ) تعریف نمود طول مؤثر، طولی است که نیرو در آن طول اثر می‌کند؛ مانند طول سوزنی که روی آب قرار گرفته است. به عبارت دیگر کشش سطحی برابر است با:

$$\gamma = \frac{F}{L}$$

که در آن:

$\gamma$ : کشش سطحی برحسب نیوتن بر متر ( $N/m$ )

$F$ : نیرو بر حسب نیوتن ( $N$ )

$L$ : طول برحسب متر ( $m$ )

در فلزات در حالت مذاب اندازه کشش سطحی به ترکیب شیمیایی فلز مذاب بستگی دارد و متناسب با آن تغییر می‌کند. معمولاً سطح فلز مذاب در مجاورت هوا اکسید می‌شود و یک لایه اکسیدی با دمای ذوب بالاتر از دمای مذاب، سطح مذاب را می‌پوشاند. این لایه اکسیدی، معمولاً جامد است، در نتیجه، موجب افزایش کشش سطح مذاب می‌شود. این پدیده در هنگام انجماد مذاب در قالب، سبب ایجاد عیوبی در سطح بالایی قطعه و هم‌چنین پرنشیدن کامل گوشه‌های تیز در محفظه قالب می‌شود و در نهایت، منجر به تولید قطعه نامرغوب می‌گردد. بنابراین، در هنگام طراحی مدل و قالب و تهیه مذاب باید به این عامل توجه شود تا از به وجود آمدن قطعه معیوب جلوگیری گردد.

## ۱۰-۱- فشار بخار

در پاسخ به سوال چهار می‌توان گفت که ظرف آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، انرژی حرارتی بیشتری نسبت به ظرف آب در دمای محیط دریافت می‌کند. بنابراین، ارتعاش مولکول‌های آب در آن به مراتب بیشتر خواهد شد این مسأله سبب می‌شود، مولکول‌هایی که در سطح قرار دارند، به راحتی از مایع خارج شده و به گاز یا بخار بروند. پس، از حالت مایع خارج شده و به حالت بخار درمی‌آیند، در ظرف آبی که در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  قرار دارد، بیشتر از تعداد مولکول‌ها در ظرف آبی است که در دمای محیط قرار دارد. در نتیجه، پس از مدت کوتاهی، سطح آب در ظرف با دمای  $100^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که فشار بخار در ظرف آب در دمای  $100^{\circ}\text{C}$ ، بیشتر از این فشار در ظرف آب در دمای محیط است. بنابراین، مقدار بیشتری از آب ظرف  $100^{\circ}\text{C}$  نسبت به ظرف با دمای محیط، به بخار تبدیل می‌شود. همین مسأله در مورد فلزات مذاب نیز صادق است؛ فلزات مذاب نیز مانند آب، حاوی اتم‌هایی هستند که می‌توانند از مایع به گاز بروند. تعداد این اتم‌ها در نقطه ذوب و کمی بالاتر از آن بسیار کم است. یعنی فشار بخار مذاب بسیار پایین است؛ به طوری که اتم‌ها تمایل دارند در داخل مذاب به حالت مایع باقی بمانند.

حال اگر دمای مذاب بیشتر شود، انرژی تمام اتم‌ها از جمله اتم‌های سطحی افزایش می‌یابد، تا جایی که انرژی اتم‌های مذاب که در سطح قرار دارند، به حدی می‌رسد که می‌توانند تبدیل به بخار شوند؛ یعنی با افزایش دما، فشار بخار فلزات مذاب افزایش می‌یابد؛ به طوری که در نزدیک نقطه جوش، فشار بخار به حدود ۱ اتمسفر، که برابر فشار محیط است، می‌رسد و اتم‌های فلز مذاب می‌توانند به راحتی به بخار تبدیل شوند.

تعداد کمی از فلزات در شرایط ذوب و در حالت مایع، دارای فشار بخار زیادی هستند؛ مانند منیزیم، روی، جیوه، کادمیم و آنتیموان. به طوری که در شرایط ذوب مقداری از مذاب این فلزات به راحتی تبدیل به بخار می‌شود.

با توجه به این ویژگی، اگر این فلزات به عنوان عنصر اصلی یا به عنوان عنصر آلیاژی در مذاب فلزی وجود داشته باشند، در هنگام ریخته‌گری بخشی از آن‌ها از مذاب به صورت بخار خارج شده و سبب تغییر ترکیب شیمیایی مذاب و یا معیوب شدن قطعه ریخته‌گری می‌شود. بنابراین، در مورد فلزات با فشار بخار زیاد، بهتر است که حتی‌الامکان از اضافه نمودن آن‌ها به مذاب به صورت خالص اجتناب شود و حتماً آلیاژهای آن‌ها به مذاب اضافه شود.

به عنوان مثال، برای ساخت قطعات منیزیمی به روش ریخته‌گری، مشکلات زیادی وجود دارد. مهم‌ترین مشکل، ذوب کردن منیزیم می‌باشد؛ با توجه به فشار بخار زیاد منیزیم قسمت زیادی از آن بخار می‌شود. از طرف دیگر، میل ترکیبی شدید منیزیم با اکسیژن، امکان انفجار و آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد در نتیجه، برای ساخت آلیاژهای منیزیمی، ذوب منیزیم باید در کوره‌های خلاء یا با اتمسفر محافظ و در نظر گرفتن تمهیدات خاصی صورت گیرد. همچنین برای ساخت چدن با گرافیت کروی، منیزیم باید با تمهیدات خاصی به مذاب چدن اضافه

شود. موارد مشابه دیگر عبارتند از:

استفاده از فسفر جهت تصفیه مس و استفاده از روی در ساخت آلیاژهای برنج. در این فرایندها، برای رسیدن به ترکیب شیمیایی موردنظر در آلیاژ، باید به فشار بخار بالای فسفر و روی توجه شود. به علاوه، بسیاری از فلزات و عناصر سمی بوده و باعث آلودگی محیط کار و بروز بیماری‌های خطرناک می‌شوند. بنابراین، در ریخته‌گری باید به فشار بخار فلزات مورد استفاده بسیار توجه نمود.

## ۱۱-۱ سیالیت (رو یا قابلیت پرکردن قالب)

همان‌طور که در بحث گران‌روی یا ویسکوزیته گفته شد، هرچه ویسکوزیته سیال کمتر باشد، قابلیت تخلیه ظرف توسط آن سیال بیشتر است و به همین ترتیب، پرکردن ظرف توسط آن سیال نیز بسیار بهتر صورت می‌گیرد. بنابراین، در پاسخ سؤال ۵ می‌توان گفت که با توجه به ویسکوزیته کم‌تر آب نسبت به روغن، آب راحت‌تر محفظه قالب را پر می‌کند. همچنین ویسکوزیته روغن از فلزات مذاب کمتر است، در نتیجه، روغن نسبت به فلز مذاب، راحت‌تر محفظه قالب را پر می‌کند. بنابراین ابتدا آب، سپس روغن و در نهایت فلز مذاب، قالب را راحت‌تر پر می‌کنند.

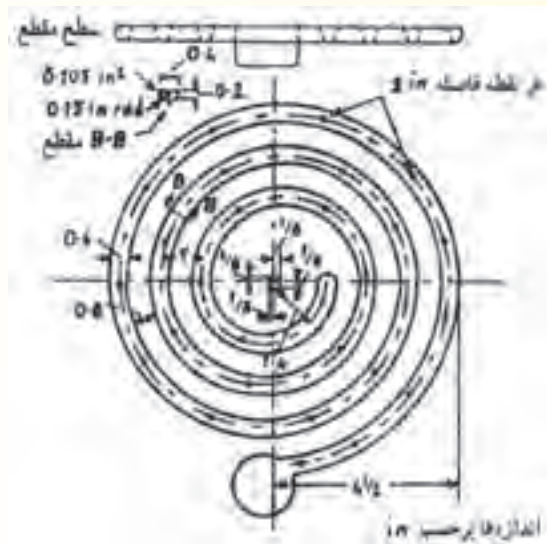
با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان گفت، پرکردن قالب توسط مذاب در ریخته‌گری اهمیت فراوانی دارد؛ یعنی هرچه قالب توسط مذاب راحت‌تر پر شود، امکان تولید قطعه با کیفیت بالا بیشتر است. سیالیت را می‌توان به صورت «قابلیت پرکردن تمام قسمت‌های قالب توسط آلیاژ مذاب» تعریف نمود. با توجه به این تعریف، مشخص می‌شود که سیالیت یک ویژگی کیفی و نشان دهنده کیفیت مذاب می‌باشد و مانند گران‌روی با ویسکوزیته یک ویژگی فیزیکی نیست. سیالیت با شرایط مختلف ریخته‌گری و قالب تغییر می‌کند. و از آن به عنوان سیالیت ریخته‌گری یاد می‌شود.

سیالیت با گران‌روی آلیاژها و فلزات ارتباط دارد و برای تعیین سیالیت آلیاژها از اندازه‌گیری گران‌روی استفاده می‌شود زیرا گران‌روی بر سرعت حرکت مذاب تأثیر فراوانی دارد. اما با توجه به نتایج آزمایش‌های تجربی، پرشدن قالب تنها به گران‌روی مذاب بستگی ندارد و عامل‌های متفاوتی مانند انجماد سریع مذاب در اثر انتقال حرارت سریع از قالب، شرایط حرارتی مذاب، نوع انجماد مذاب، سرعت حرکت مذاب و نیروی چسبندگی مذاب به جداره قالب، اهمیت بیشتری در پرکردن قالب دارند. بنابراین این مشخص می‌شود که سیالیت یک عامل فیزیکی نیست، بلکه یک عامل ریخته‌گری و نشان‌دهنده کیفیت مذاب می‌باشد.

برای تعیین سیالیت آزمایش‌های متفاوتی انجام می‌شود تا بتوان شرایط ریخته‌گری قطعات را مشخص نمود. آزمایش صفحه و آزمایش مارپیچ نمونه‌هایی از آزمایش‌های رایج برای اندازه‌گیری سیالیت مذاب در شرایط خاصی کارگاه می‌باشد.

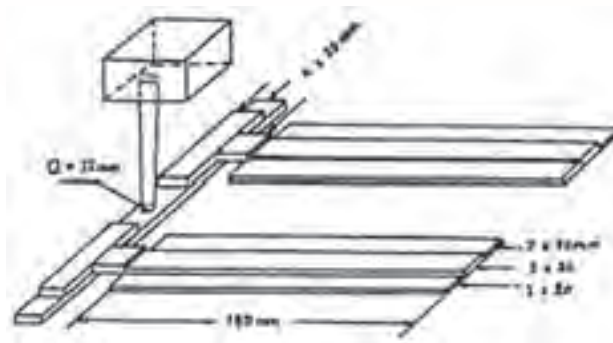


**آزمایش مارپیچ:** در این روش، مدلی به شکل مارپیچ مانند شکل ۱۹-۱، توسط موادی که برای قالب‌گیری در تولید قطعه موردنظر به کار می‌رود، قالب‌گیری می‌شود. سپس مذابی که قرار است برای تولید قطعه به کار رود، با سرعت و ارتفاع معین در داخل قالب مارپیچ ریخته می‌شود. پس از انجماد مذاب در مارپیچ طولی که مذاب در قالب مارپیچ طی کرده است، سیالیت نسبی مذاب را در شرایط کارگاهی آزمایش شده تعیین می‌کند.



شکل ۱۹-۱- آزمایش مارپیچ برای تعیین سیالیت

**آزمایش صفحه:** در این روش، مدلی به شکل صفحه مطابق شکل ۲۰-۱، توسط موادی که برای قالب‌گیری در تولید قطعه موردنظر به کار می‌رود، قالب‌گیری می‌شود. سپس مذابی که قرار است برای تولید قطعه به کار می‌رود، با سرعت تا ارتفاع معین در داخل قالب صفحه ریخته می‌شود. پس از انجماد، سطح پر شده در قالب صفحه، سیالیت نسبی مذاب را در شرایط کارگاهی تعیین می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه مذاب بتواند صفحات نازک‌تر را پر نماید، سیالیت آن بیشتر است.



شکل ۲۰-۱- آزمایش صفحه برای تعیین سیالیت

### ۱-۱۱-۱- عوامل مؤثر بر سیالیت

**الف) دما:** هرچه دمای مذاب افزایش یابد، حرکت اتم‌های فلز در آن افزایش یافته و در نتیجه نیروی چسبندگی بین اتم‌های مذاب کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، ویسکوزیته مذاب کاهش می‌یابد. بنابراین، مذاب راحت‌تر می‌تواند قالب را پر نماید. نتیجه می‌گیریم که افزایش دمای مذاب سبب افزایش سیالیت مذاب خواهد شد. اما نمی‌توان برای افزایش سیالیت مذاب، دمای آن را تا هر اندازه‌ی دلخواه افزایش داد. زیرا افزایش دمای مذاب سبب به وجود آمدن مشکلات دیگری مانند اکسید شدن مذاب، افزایش جذب گاز توسط مذاب و افزایش میزان انقباض مذاب در حین سرد شدن و انجماد خواهد شد، که این عوامل در نهایت منجر به تولید قطعه معیوب خواهد شد.

**ب) ترکیب شیمیایی:** برخی عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ، به دلیل تأثیر بر ساختمان داخلی مذاب، سبب تأثیر بر گرانروی آلیاژ و در نهایت تأثیر بر سیالیت فلز می‌شود. رفتار عناصر تشکیل‌دهنده یک آلیاژ نسبت به یکدیگر، نشان‌دهنده تأثیر آن عناصر بر تغییرات سیالیت آن آلیاژ می‌باشد. به عنوان مثال، اگر دو عنصر در یک ترکیب شیمیایی خاص، تشکیل آلیاژ یوتکتیک (با دامنه انجماد صفر، مشابه فلز خالص) بدهند، بیشترین سیالیت را خواهند داشت و هرچه از این ترتیب شیمیایی دور شویم، سیالیت کمتر می‌شود.

**ج) کشش سطحی:** در قطعاتی که دارای کانال‌ها و گوشه‌هایی با ضخامت‌های کمتر از ۵ میلی‌متر هستند، کشش سطحی آلیاژ مذاب سبب جلوگیری از ورود مذاب به داخل کانال‌ها می‌شود. به عبارت دیگر، نیروهای چسبندگی اتم‌های روی سطح مذاب به قدری زیاد است که مانع جاری شدن مذاب در آن کانال‌ها می‌شود. بنابراین، کشش سطحی مذاب تأثیر زیادی بر سیالیت آلیاژ دارد؛ هرچه کشش سطحی مذاب کمتر باشد، بهتر می‌تواند کانال‌ها و گوشه‌های با ضخامت‌های کم (نازک‌تر) را در قالب پر نماید.

**د) مواد قالب:** هرچه هدایت حرارتی مواد قالب بیشتر باشد، یعنی حرارت قالب و مذاب را سریع‌تر به خارج منتقل نماید، مذاب سریع‌تر منجمد شده و از ادامه مسیر باز می‌ماند. بنابراین، جنس قالب (خواص فیزیکی آن مانند گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی مواد قالب) اثر بسیار زیادی بر سیالیت مذاب دارد.

به علاوه، هرچه مواد قالب فشرده‌تر باشد، مذاب با اصطکاک کمتری روی آن حرکت می‌کند؛ بنابراین، سیالیت آن بیشتر است. هم‌چنین، اگر سطح قالب با مواد مناسب پوشش داده شود، به طوری که اصطکاک مذاب با دیواره قالب را به حداقل برساند؛ مذاب مسیر بیشتری را در قالب طی کرده و سیالیت آن افزایش می‌یابد.

عوامل دیگری نظیر تغییر سطح مقطع کانال‌ها و شکل قالب، سیستم راهگامی قالب و ابعاد و ارتفاع اجزای آن نیز بر سیالیت مذاب اثرگذار می‌باشند.

**ه) اثرات سطحی قالب:** هرچه سطح قالب یکنواخت‌تر باشد و زبری کمتری داشته باشد، نیروی اصطکاک بین مذاب و قالب، کاهش می‌یابد و مذاب مسیر بیشتری درون قالب طی می‌کند؛ بنابراین، سیالیت مذاب افزایش می‌یابد. عکس این موضوع نیز درست است.

به همین دلیل، برای افزایش سیالیت مذاب سعی می‌شود در قالب‌های ماسه‌ای، از ماسه‌های دانه‌ریز در سطح داخلی محفظه قالب استفاده می‌شود، تا پس از فشرده شدن، سطح، زبری کمتری را پدید آورد و اصطکاک بین مذاب با سطح قالب را کاهش دهد. همچنین، می‌توان از مواد پوششی مناسب، برای پوشش دادن سطوح قالب استفاده نمود. اصطکاک بین مذاب و دیواره قالب را کاهش و در نتیجه، سیالیت مذاب را افزایش داد. در حقیقت، مواد پوششی، با به وجود آوردن سطح صیقلی و کاهش ترشوندگی سطح قالب توسط مذاب در فصل مشترک مذاب - قالب، سبب کاهش اصطکاک و تماس مذاب و قالب می‌شود. از طرف دیگر، مواد پوشش انتقال حرارت مذاب توسط مواد قالب را کاهش می‌دهند. در نتیجه، مذاب دیرتر منجمد شده و مسیر بیشتری را درون قالب طی می‌کند.

**(و) اثرات فشار هوا:** معمولاً، درون قالب خالی از مذاب، پر از هوا است. هنگامی که مذاب در داخل قالب ریخته می‌شود، در اثر حرارت مذاب، هوای داخل قالب به سرعت منبسط شده، فشار آن افزایش یافته و از قالب خارج می‌شود. حال اگر این هوا نتواند از قالب خارج شود، فشار هوا سبب کندشدن جریان مذاب در داخل قالب و در نهایت توقف مذاب می‌شود. این پدیده سبب کاهش سیالیت مذاب می‌شود. بنابراین، برای افزایش سیالیت مذاب، منافذ خروج هوا باید به گونه‌ای در قالب طراحی شوند که هوا به سرعت از قالب خارج شده و مانع حرکت مذاب نشود.

علاوه بر عوامل ذکر شده، دبی بارریزی و زمان بارریزی نیز بر سیالیت مذاب مؤثر است. اگر دبی بارریزی کم باشد، زمان بارریزی افزایش خواهد یافت؛ یعنی زمان بیشتری طول خواهد کشید تا مذاب به همه نقاط قالب برسد. در طی زمان بارریزی طولانی، در اثر انتقال حرارت مذاب از طریق دیواره‌های قالب، مذاب منجمد شده و در نهایت، سیالیت مذاب به طور وسیعی کاهش می‌یابد. بنابراین، کنترل دبی جریان مذاب و زمان بارریزی تأثیر زیادی بر میزان سیالیت مذاب دارد.

### در پایان جلسه:

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

## ارزشیابی

- ۱- خواص فیزیکی زیر را تعریف کنید.
  - الف) نقطه ذوب
  - ب) گرمای نهان گداز
  - ج) گرانروی (ویسکوزیته)
  - د) سیالیت
- ۲- گرمای نهان گداز را تعریف کنید.
- ۳- گرمای ویژه را تعریف کنید.
- ۴- حرارت فوق ذوب را تعریف کنید.
- ۵- سیالیت را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر سیالیت را نام ببرید.
- ۶- توانایی و قابلیت پرکردن تمام قسمت‌های قالب تحت سرعت بارریزی معین توسط فلز مذاب را ..... می‌نامند.

## عملیات کیفی

### هدف

- ۱- آشنایی با منابع تولید گاز در مذاب
- ۲- آشنایی با عملیات گاززدایی
- ۳- آشنایی با آخال و منابع تولید آخال
- ۴- آشنایی با روش های آخال زدایی
- ۵- آشنایی با عملیات تلقیح (جوانه زایی)

### مفاهیم کلی

- ۱- منابع تولید گاز و عملیات گاززدایی مذاب
- ۲- آخال و منابع تولید آخال در مذاب
- ۳- روش های آخال زدایی مذاب
- ۴- تلقیح (جوانه زایی)

### مفاهیم اساسی

- ۱- مک های گازی از مهم ترین عیوب در قطعات ریختگی از آلیاژهای مختلف می باشد.
  - ۲- واکنش گازها با مذاب به سه حالت می باشند.
- الف) برخی گازها با مذاب واکنش شیمیایی می دهند که این واکنش ها منجر به تشکیل ترکیبات شیمیایی مانند اکسیدها، نیتrideها، سولفیدها و غیره می شود.
- ب) بعضی از گازها در مذاب حل می شوند؛ مانند هیدروژن در مذاب آلومینیوم.
- ج) بعضی از گازها نه با مذاب واکنش شیمیایی می دهند و نه در آن حل می شوند؛ مانند گازهای خنثی.
- ۳- منابع تولید گاز در مذاب عبارتند از: هوای محیط، سوخت و محصولات احتراق، مواد نسوز، وسایل و ابزارهای ذوب، مواد شارژ و مواد قالب و ماهیچه.
  - ۴- مهم ترین گازهای محلول در مذاب عبارتند از:  $N_2$ ،  $O_2$ ،  $H_2$ ،  $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $CO$ ،  $H_2O$  ...
  - ۵- گازها برای انحلال در مذاب باید از حالت مولکولی خارج شوند و به حالت اتمی درآیند.

- ۶- عوامل مؤثر بر انحلال گازها در مذاب عبارتند از: درجه حرارت، فشار و عناصر آلیاژی.
- ۷- در هنگام انجماد مذاب، گازهای محلول از حالت اتمی خارج و به صورت مولکولی درمی آیند. چون حلالیت گازها در حالت جامد نسبت به حالت مذاب کمتر است.
- ۸- با شروع انجماد مذاب، دو عامل در تشکیل حباب‌های گازی مهم هستند. این عوامل عبارتند از: خروج گازها از حلالیت و محبوس شدن حباب‌ها.
- ۹- میزان مک‌های ایجاد شده در قطعه‌های ریختگی به عوامل مختلفی بستگی دارد؛ مانند مقدار اختلاط حلالیت گاز در حالت جامد و مذاب، نوع انجماد، سرعت سرد کردن مذاب، آخال‌ها، عناصر آلیاژی، سیستم راهگامی، شکل، اندازه و وزن قطعه.
- ۱۰- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب عبارتند از: رادیوگرافی قطعات ریخته‌گری شده با اشعه X، مشاهده سطح نمونه قطعه ریخته شده، انجماد نمونه تحت شرایط خلاء، آزمایش وزن مخصوص، روش آلتراسونیک
- ۱۱- روش‌های جلوگیری از ایجاد مک‌های گازی عبارتند از: استفاده از شارژ تمیز، کنترل احتراق، جلوگیری از طولانی شدن زمان ذوب و نگهداری مذاب، کاهش سطح مذاب، استفاده از مواد پوششی در سرباره، کنترل درجه حرارت مذاب، جلوگیری از تلاطم مذاب، طراحی سیستم راهگامی مناسب.
- ۱۲- روش‌های گاززدایی مذاب عبارتند از: استفاده از کاهش فشار خارجی، استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب.
- ۱۳- روش‌های گاززدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب عبارتند از؛ استفاده از گازهای بی‌اثر و استفاده از گازهای فعال.
- ۱۴- به تمام ناخالصی‌های ترکیبی فلزی و غیرفلزی که در فلز مذاب به‌وجود می‌آیند، آخال گفته می‌شود.
- ۱۵- انواع آخال‌ها عبارتند از: آخال‌های ایجاد شده در اثر عوامل خارجی مانند سرباره‌ها، ذرات مواد قالب و غیره و آخال‌های ایجاد شده در اثر واکنش شیمیایی در داخل مذاب مانند سولفیدها، نیتريد‌ها، اکسیدها و غیره.
- ۱۶- کلیه فلزات و آلیاژها با گازهای اکسید کننده، به ویژه اکسیژن، ترکیب می‌شوند و اکسید تولید می‌کنند. که مهم‌ترین آخال در کلیه آلیاژهای صنعتی می‌باشند.
- ۱۷- منابع ایجاد آخال عبارتند از: مواد شارژ، اندازه مواد شارژ، ترتیب باردهی، هم زدن و آشفته کردن مذاب، محیط اطراف کوره، دمای ذوب، زمان نگهداری مذاب، نوع کوره، وسایل و تجهیزات در

- ذوب، بارریزی، قالب، سیستم راهگاهی، دمای بارریزی.
- ۱۸- به کلیه عملیاتی که برای جلوگیری، حذف یا کاهش اثرات نامطلوب آخال‌ها به کار می‌رود، آخال‌زدایی گفته می‌شود.
- ۱۹- برای آخال‌زدایی از فلاکس استفاده می‌شود و معمولاً دو نوع می‌باشد: فلاکس‌های پوششی و فلاکس‌های تمیزکننده.
- ۲۰- فلاکس‌های پوششی به منظور ایجاد سدی در برابر نفوذ اکسیژن به داخل مذاب طراحی شده‌اند.
- ۲۱- فلاکس‌های تمیزکننده به منظور جداسازی ذرات آخال معلق و خارج کردن آن‌ها از مذاب به کار می‌روند.
- ۲۲- مهم‌ترین وظایف فلاکس‌های تمیزکننده عبارتند از: کاهش وزن مخصوص آخال، کاهش آغشتگی آخال به مذاب، افزایش نقطه ذوب آخال.
- ۲۳- در روش‌های ترکیبی آخال‌زدایی، حذف آخال با عناصری صورت می‌گیرد که نسبت به فلز مذاب میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن، نیتروژن و غیره دارند.
- ۲۴- برای حذف کامل آخال‌ها در آلیاژهایی که وجود مقدار جزئی آخال‌های ریز میکروسکوپی سبب کاهش خواص قطعه می‌شود، از عملیات فیلتر کردن مذاب استفاده می‌شود.
- ۲۵- اضافه کردن بعضی عناصر به مذاب در مقادیر جزئی می‌تواند موجب بهبود ریخته‌گری، مکانیکی و فیزیکی قطعات ریخته‌گری شود. به این عمل تلقیح گفته می‌شود.
- ۲۶- جوانه‌زایی یکی از موارد عملیات تلقیح می‌باشد.
- ۲۷- مواد جوانه‌زا باید دارای خواصی مانند دیرگدازی، قابلیت آغشتگی به مذاب باشد. ساختار کریستالی آن نزدیک به ساختار فلز مذاب باشد.
- ۲۸- جوانه‌زاها در آخرین مرحله به مذاب اضافه می‌شوند.
- ۲۹- در صورتی که دما، بالا و یا زمان جوانه‌زایی طولانی باشد. راندمان جوانه‌زایی به شدت کاهش می‌یابد.
- ۳۰- اندازه جوانه‌زاها نباید بسیار بزرگ باشد چون سبب غیریکنواختی در قطعات ریخته‌گری می‌شود و خواص قطعه ریخته‌گری را کاهش می‌دهد از طرفی نباید آن قدر ریز باشد که در مذاب به سادگی حل شود.
- ۳۱- جوانه را باید به‌طور یکنواخت و در مقدار معینی به مذاب اضافه کرد.

## انتظارات آموزشی

### الف) در سطح دانش

- ۱- عملیات کیفی را تعریف کند و روش‌های مهم آن را نام ببرد.
- ۲- مک‌گازی را تعریف کند.
- ۳- منابع تولید گاز در مذاب را توضیح دهد.
- ۴- عوامل مؤثر در انحلال گاز را نام ببرد.
- ۵- پدیده‌های مؤثر در تشکیل حباب‌های گازی در حین انجماد را نام ببرد.
- ۶- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی را توضیح دهد.
- ۷- روش‌های جلوگیری از مک‌های گازی را شرح دهد.
- ۸- انواع روش‌های گاززدایی را نام ببرد.
- ۹- آخال را تعریف کند و انواع آن را شرح دهد.
- ۱۰- اکسیداسیون را توضیح دهد.
- ۱۱- منابع ایجاد آخال را نام برده و توضیح دهد.
- ۱۲- روش‌های آخال زدایی را نام ببرد.
- ۱۳- تلقیح را توضیح دهد.
- ۱۴- مزایا و معایب جوانه‌زایی را توضیح دهد.

### ب) در سطح درک و فهم مطالب

- ۱- واکنش گازهای مذاب را توضیح دهد.
- ۲- نحوه انحلال گازها در مذاب و عوامل مؤثر بر آن را شرح دهد.
- ۳- چگونگی ایجاد مک‌های گازی را توضیح دهد.
- ۴- روش گاززدایی با استفاده از کاهش فشار خارجی را توضیح دهد.
- ۵- روش گاززدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب را توضیح دهد.
- ۶- فلاکس‌های پوششی را شرح دهد.
- ۷- فلاکس‌های تمیزکننده را توضیح دهد.
- ۸- روش‌های ترکیبی آخال‌زدایی را توضیح دهد.
- ۹- عملیات فیلتر کردن مذاب را شرح دهد.
- ۱۰- شرایط و ویژگی‌های مواد جوانه‌زا را توضیح دهد.

### ج) در سطح کاربرد معلومات



- ۱- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب را توضیح دهد.
- ۲- ترتیب استفاده از مواد شارژ را توضیح دهد.
- ۳- نحوه محبوس شدن گازها در حین انجماد را توضیح دهد.

#### د) تجزیه و تحلیل

- ۱- مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گازها را توضیح دهد.
- ۲- تأثیر زمان جوانه‌زدایی، دما و زمان (میرایی) را بر مواد جوانه‌زا توضیح دهد.
- ۳- تأثیر اندازه و مقدار جوانه‌زاها را بر عملیات جوانه‌زایی توضیح دهد.
- ۴- روش‌های مختلف گاززدایی را با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۵- روش‌های مختلف آخال‌زدایی را با یکدیگر مقایسه نماید.

#### ه) در سطح ترکیب و نوآوری

- ۱- میزان حلالیت هیدروژن در فلزات آهن و نیکل را در دماهای مختلف با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۲- نحوه اکسیداسیون و نوع اکسید آهن با آلومینیوم را با یکدیگر مقایسه کند.

زمان پیش‌بینی شده برای تدریس این فصل، ۵ جلسه‌ی ۱۰۰ دقیقه‌ای برای تدریس و ۱ جلسه‌ی ۱۰۰ دقیقه‌ای برای ارزشیابی است.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون (به‌صورت شفاهی، کتبی، پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری از مطالب فصل قبل (اول)

## موضوع

- گاز و عملیات گاززدایی،

- واکنش گاز در مذاب،

- منابع تولید گاز در مذاب

- انحلال گازها در مذاب

برای درک بهتر مفاهیم این جلسه، چند سوال جهت آماده‌سازی ذهن هنرجو توسط هنرآموز ارائه شود.

۱- یک قطعه ریختگی را برش زده‌ایم، در سطح مقطع آن حفره‌هایی خالی مشاهده می‌شود، به نظر شما علت چه می‌تواند باشد.

۲- هنگامی که فلزات را ذوب می‌کنیم، معمولاً یک لایه جامد روی آن تشکیل می‌شود، علت چیست؟

۳- اگر ظرف آبی را برای مدتی ساکن نگه داریم در کف ظرف حباب‌هایی تشکیل می‌شود، علت چیست؟

۴- به نظر شما، آیا گازها در مذاب فلزات حل می‌شوند؟

۵- چگونه می‌توان از تولید گاز در مذاب جلوگیری نمود.

هنگامی که یک فلز را برای تولید یک قطعه ریختگی ذوب می‌کنیم، معمولاً در اثر عوامل محیطی و آلودگی‌هایی که همراه با مواد شارژ اولیه وجود دارد، ناخواسته‌ای داخل مذاب می‌شود که اگر این مذاب به همراه مواد ناخواسته، در قالب ریخته‌گری شود قطعه تولید شده دارای عیوب متفاوت خواهد بود و طبیعتاً کیفیت لازم را نخواهد داشت به همین منظور، یک سری عملیات در حین ذوب و ریخته‌گری انجام می‌شود که علاوه بر جلوگیری از ورود مواد ناخواسته به داخل مذاب و قطعه در حین منجمد شدن، بر قطعه ریختگی تأثیر گذاشته و خواص متالورژیکی، مکانیکی، فیزیکی و ریخته‌گری آن را بهبود دهد. مهم‌ترین این عملیات عبارتند از:

الف) عملیات گاززدایی

ب) عملیات آخال‌زدایی

ج) عملیات تلقیح (جوانه‌زایی)

که در این فصل و دروس مربوط به آن، هرکدام از موارد فوق، به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۱-۲- گاز و عملیات گاززدایی

معمولاً پس از ریخته‌گری در سطح مقطع قطعات ریختگی، حفره‌های توخالی مشاهده می‌شود. این حفره‌ها،

می‌توانند بسیار ریز (در حد میکروسکوپی) و یا به حدی بزرگ باشند که با چشم غیر مسلح دیده شوند، معمولاً این حفره‌ها، در اثر وجود گاز در مذاب ایجاد می‌شود که اصطلاحاً در ریخته‌گری، به آن‌ها مک گفته می‌شود. عموماً مک‌ها در نتیجه محبوس شدن گاز در مذاب و قطعه ریخته‌گری در حین عملیات ریخته‌گری و انجماد به وجود می‌آیند. مک‌های گازی، از مهم‌ترین عیوب در قطعات ریخته‌گری به‌شمار می‌روند. برای درک بهتر نحوه ایجاد مک‌های گازی، در قطعات ریخته‌گری، ابتدا باید اثرات گاز در مذاب و منابع تولید گاز در مذاب مشخص شود.

### ۱-۱-۲- واکنش گاز در مذاب: گازها با مذاب فلزات واکنش‌های متفاوتی دارند، که با توجه به تأثیر آن‌ها

بر فلز مذاب به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌شوند:

#### الف) اثر شیمیایی: بعضی از گازها، هنگام تماس با مذاب به صورت شیمیایی با مذاب واکنش می‌دهند که

منجر به تشکیل ترکیبات شیمیایی، نظر اکسیدها، سولفیدها، نیتروورها، کربورها و غیره، می‌شود. البته این نوع گازها، میل ترکیبی زیادی با فلزات دارند؛ مانند اکسیژن.

معمولاً ترکیبات ایجاد شده در اثر واکنش شیمیایی گاز و مذاب، نقطه ذوب نسبتاً بالایی دارند که در مذاب

فلز به صورت ذرات ریز جامد دیده می‌شوند. البته گاهی، نقطه ذوب این ترکیبات به گونه‌ای است که در مذاب فلز به صورت مایع ظاهر می‌شوند؛ به عنوان مثال، می‌توان اکسید فلزات را نام برد.

معمولاً در هنگام ذوب فلزات، به علت دمای بالای فلز و حرکت آزادانه اتم‌های فلز در سطح مذاب، اتم‌های

فلز با اکسیژن واکنش داده و اکسید فلز را به وجود می‌آورد. تشکیل اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) در سطح مذاب آلومینیوم مثالی از این حالت است.

#### ب) اثر فیزیکی (انحلال): بعضی از گازها میل ترکیب شیمیایی با مذاب فلزات ندارند؛ اما، هنگام تماس

با فلز مذاب از حالت مولکولی خارج شده، به صورت اتمی درمی‌آیند و در مذاب حل می‌شوند. به عنوان مثال،

هنگام تهیه مذاب آلومینیوم، گاز هیدروژن موجود در محیط که در تماس با آلومینیوم مذاب قرار دارد، از حالت

مولکولی خارج شده و به صورت اتم هیدروژن درمی‌آید و در نهایت به علت بالا بودن دمای مذاب به راحتی در

مذاب آلومینیوم حل می‌شود. به همین ترتیب می‌توان بخار آب را مثال زد؛ بخار آب موجود در هوا، هنگام تماس

با مذاب آلومینیوم، به هیدروژن و اکسیژن تجزیه شده و اکسیژن آن، که میل ترکیبی زیادی با آلومینیوم دارد،

با فلز آلومینیوم ترکیب شده اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) را تولید می‌کند. اما، اتم‌های هیدروژن که میل ترکیب

شدن با آلومینیوم را ندارد، به علت قطر اتمی کوچک، در مذاب آلومینیوم حل می‌شود.

البته لازم به ذکر است که گازهایی که در مذاب حل می‌شوند، اثر شیمی فیزیکی بر مذاب دارند؛ اما گازهایی

که با مذاب ترکیب می‌شوند، اثر شیمیایی بر مذاب دارند.

#### ج) خنثی: برخی از گازهای موجود در محیط، میل ترکیب شدن با مذاب (ترکیب شیمیایی) و انحلال در

مذاب (اثر شیمی، فیزیکی) را ندارند، این گروه از گازها را گازهای خنثی یا بی اثر می نامند. به عنوان مثال، گازهای هلیوم (He) و آرگون (Ar) نسبت به مذاب فلزات مختلف خنثی می باشند. اما گاز نیتروژن نسبت به بسیاری از مذاب فلزات مختلف مانند آلومینیوم خنثی می باشد، اما در مذاب چدن حل می شوند.

## ۲-۱-۲- منابع تولید گاز در مذاب

منابع تولید گاز در مذاب عبارتند از:

(الف) هوای محیط

(ب) سوخت و محصولات احتراق

(ج) مواد نسوز

(د) وسایل و ابزارهای ذوب

(ه) مواد شارژ

(و) مواد قالب و ماهیچه

**الف) هوای محیط:** هوای محیط، شامل گازهایی مانند هیدروژن، اکسیژن، ازت و بخار آب و غیره می باشد. که گازهای دیگر از لحاظ مقدار نسبت به این گازها کمتر است. این گازها، به علت میل ترکیبی زیاد آنها با مذاب فلز، واکنش های شیمیایی و فیزیکی می دهند این واکنش ها، موجب از بین رفتن فلز مذاب و عناصر آلیاژی و تشکیل ترکیبات ناخواسته مانند اکسیدها و غیره می شود. این ترکیبات ناخواسته، در مذاب باقی مانده و حین ریخته گری وارد محفظه قالب گشته و سبب بروز عیب در قطعه ریخته گری می شود.

به طور کلی شکل کلی این واکنش ها به صورت زیر است:

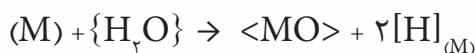
۱- واکنش ترکیب فلز جامد با اکسیژن هوا و تشکیل اکسید فلز جامد



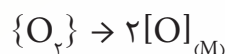
۲- واکنش ترکیب فلز مذاب با اکسیژن هوا و تشکیل اکسید فلز جامد



۳- واکنش ترکیب فلز مذاب با بخار آب، تجزیه بخار آب به اکسیژن و هیدروژن، تشکیل اکسید فلز جامد و انحلال هیدروژن به صورت اتمی در فلز مذاب.



۴- انحلال گاز اکسیژن به صورت اتمی در فلز مذاب



(ب) سوخت و محصولات احتراق: معمولاً سوخت کوره های ریخته گری شامل ترکیبات هیدروکربوره

( $C_mH_n$ )، رطوبت، مقادیر کمی گوگرد، خاکستر (بیشتر در مورد سوخت‌های جامد) و ترکیبات هیدروژن سولفور می‌باشد. این سوخت‌ها، در حین احتراق، گازهایی مانند  $CO$ ،  $H_2O$ ،  $CO_2$  و  $SO_2$  از خود متصاعد می‌کنند که ممکن است بر مذاب تأثیر گذاشته، با آن واکنش دهند. که موجب اتلاف مذاب و یا ایجاد ترکیبات ناخواسته در مذاب شده که در نهایت بر روی خواص قطعه ریختگی تأثیر نامطلوب گذاشته و سبب بروز عیب در قطعه می‌شود.

**ج) نسوزها:** معمولاً، دیواره کوره‌ها، نگهدارنده‌های مذاب، پاتیل‌ها و بوت‌ها را با یک لایه ماده دیرگداز، که نقطه ذوب بالایی دارد و نسبت به مذاب و سرباره بی‌اثر باشد، می‌پوشانند. اگر در این مواد دیرگداز، ناخالصی وجود داشته باشد این ناخالصی‌ها باعث کاهش نقطه ذوب و دیرگدازی مواد پوشش شده و در نتیجه موجب ورود این مواد به داخل مذاب و واکنش شیمیایی آن‌ها با مذاب می‌شود.

از طرف دیگر، برخورد مذاب با دیواره دیرگداز و همچنین ضربات ناشی از قرار دادن مواد شارژ در بوت‌ها یا پاتیل سبب صدمه دیدن دیواره پاتیل و در نهایت خرد شدن لایه پوششی و وارد شدن آن‌ها به داخل مذاب می‌شود. ورود این مواد به مذاب، سبب آلودگی مذاب و در نتیجه، کاهش کیفیت قطعه ریختگی خواهد شد.

**د) وسایل و ابزار ذوب:** هنگام ذوب و ریخته‌گری قطعات فلزی، از وسایل و ابزار مخصوص جهت اضافه نمودن عناصر آلیاژی‌سازی، به هم‌زدن و یکنواخت کردن مذاب، نمونه‌برداری از مذاب و غیره استفاده می‌شوند. اغلب، این وسایل فلزی بوده و در هنگام ورود به مذاب ممکن است مقداری از عناصر آن وارد مذاب فلز گشته و موجب آلودگی مذاب یا واکنش با آن بشود. به عنوان مثال، در هنگام ذوب آلومینیوم در بوت‌ها از ابزار آهنی استفاده می‌شود که اکسیدهای آهن از ابزار جدا شده و وارد مذاب می‌شوند. این اکسیدها با آلومینیوم واکنش داده و سبب تشکیل اکسید آلومینیوم جامد در مذاب آلومینیوم و آهن محلول در مذاب آلومینیوم می‌شود. واکنش آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:



**ه) مواد بار (شارژ):** مواد بار یا شارژ یک کوره، معمولاً از نظر اقتصادی و متالورژیکی به چند دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: شمش‌های اولیه، شمش‌های ثانویه، برگشتی‌ها و قراضه‌ها. هر کدام از این مواد، به نحوی سبب آلودگی مذاب و تشکیل گاز می‌گردند.

شمش‌های اولیه، شمش‌هایی هستند که مستقیماً از کوره‌های ذوب فلز اصلی یا مادر، مانند چدن، و یا از طریق الکترولیز، مانند مس، تولید می‌شوند. معمولاً شمش‌های اولیه، خلوصی بیشتر از ۹۹/۹ درصد دارند. همچنین، در این مواد مقدار کمی ناخالصی وجود دارد که ممکن است سبب ایجاد محدودیت از نظر ترکیب شیمیایی مذاب نهایی و عیب در قطعه ریختگی می‌شوند.

به عنوان مثال، می‌توان به شمش‌های محصول کوره بلند که به آهن خام معروف می‌باشد، اشاره کرد. این

شمش‌ها، علاوه بر داشتن عناصری مانند کربن، سیلیسیم و منگنز، دارای مقادیر کمی گوگرد و فسفر می‌باشند؛ گوگرد و فسفر سبب کاهش خواص مکانیکی قطعه ریختگی می‌شود. به همین منظور، باید قبل از ریخته‌گری مذاب آهن خام، فسفر و گوگرد آن تا حد امکان حذف شوند.

شمش‌های ثانویه، یا آلیاژی معمولاً از قبل با عملیات الکترولیز مجدد و یا تصفیه، به صورت موادی با درجه خلوص بالاتر و یا با ترکیب شیمیایی آلیاژهای متداول در صنعت، تهیه می‌شوند. مثلاً شمش آلیاژ آلومینیوم ۸ درصد سیلیسیم برای ریخته‌گری قطعات با همین جنس به طور مستقیم استفاده می‌شود و نیاز به آلیاژسازی ندارد. بنابراین، این شمش‌ها براساس ترکیب شیمیایی قطعه ریختگی موردنظر، به مصرف می‌رسند و نیاز به عملیات تصفیه مجدد و یا آلیاژسازی ندارند.

قراضه‌های فلزی، معمولاً شامل قطعات فرسوده فلزی، اضافات (دورریز) و مواد زاید فلزی می‌باشند که به دلیل قیمت پایین در ذوب و ریخته‌گری قطعات به کار می‌رود. برای استفاده از این مواد، لازم است که ترکیب شیمیایی آن‌ها مشخص شود؛ زیرا آن‌ها از بقایای وسایل و تجهیزات فلزی مختلف می‌باشند و از ترکیب شیمیایی آن‌ها اطلاع دقیقی در دست نمی‌باشد. بنابراین، در هنگام استفاده از آن‌ها باید از عناصر آلیاژی موجود در آن‌ها آگاهی حاصل نمود و در صورت نیاز، از مذاب حاصل، نمونه‌برداری انجام داد تا بتوان به ترکیب شیمیایی موردنظر رسید. معمولاً، همراه قراضه‌ها ترکیبات و مواد ناخواسته‌ای مانند مواد اکسیدی یا قطعات زنگ زده، رطوبت، مواد روغنی مانند گریس و غیره وجود دارد. به همین دلیل، برای استفاده از این مواد برای ذوب و ریخته‌گری قطعات، ابتدا باید این مواد و ترکیبات ناخواسته را از آن‌ها جدا کرد که سبب آلودگی مذاب نشود. به عنوان مثال، می‌توان اضافات قطعات ریختگی از قبیل راهگاه، تغذیه و قطعات معیوب در یک واحد ریخته‌گری را نام برد که به برگشتی موسوم می‌باشند. این مواد، در صورتی که مربوط به یک واحد تولیدی ریخته‌گری باشند، ترکیب شیمیایی و نحوه تولید آن‌ها در آن واحد مشخص است. بنابراین، این اضافات با قراضه‌ها متفاوت‌اند و در صورتی که در اندازه و شکل‌های مناسبی وجود داشته باشند، می‌توان آن‌ها را مانند شمش‌های آلیاژی مورد استفاده قرار داد، اما، اگر این برگشتی‌ها مربوط به یک واحد تولیدی دیگر باشند و ترکیب شیمیایی و نحوه تولید آن‌ها مشخص نباشد، نمی‌توان آن‌ها را مانند شمش‌های آلیاژی مورد استفاده قرار داد، بلکه باید مانند قراضه‌ها از آن‌ها استفاده نمود تا سبب اشکال در ترکیب شیمیایی مذاب نشوند. از طرف دیگر، با توجه به اینکه برگشتی‌ها با خود مقداری ماسه و ترکیبات ناخواسته دیگر به همراه دارند و موجب آلودگی مذاب می‌شوند، باید آن‌ها را برطرف کرد. بنابراین، استفاده از آن‌ها مستلزم آگاهی و دقت بسیار است. سوپاره‌ها یا براده‌ها یکی دیگر از انواع قراضه‌ها می‌باشند که در اثر براده‌برداری یا تراشکاری از قطعات ریختگی یا قطعات شکل داده شده برای رسیدن به ابعاد مورد نظر به دست می‌آید. این مواد، بسیار ارزان می‌باشند و لذا در صنایع ریخته‌گری و ذوب فلزات از آن‌ها استفاده می‌شود. مشکل عمده این مواد، بالا بودن میزان نسبت سطح به حجم آن‌ها است. بنابراین، در هنگام ذوب، سطح زیادی از این

مواد در تماس با اکسیژن قرار می‌گیرد و با توجه به دمای بالای ذوب، با اکسیژن ترکیب شده و مواد ناخواسته اکسیدی ایجاد می‌کند که سبب آلوده شدن مذاب می‌شوند؛ همچنین این مواد، همراه خود رطوبت و ترکیبات روغنی داشته که برای استفاده مطلوب از آن‌ها، باید قبل از ذوب، حتماً با محلول رقیق سود شسته شود و پس از خشک کردن، به صورت خسته (بریکت)، فشرده شوند. البته لازم به ذکر است که بهتر است این خسته‌ها به عنوان بار جامد اولیه در کوره استفاده نشوند؛ بلکه روش درست استفاده از آن‌ها، غوطه‌ور کردن آن‌ها در زیر لایه‌های مذاب می‌باشد که از تماس مستقیم آن‌ها با اکسیژن هوا جلوگیری شود و مذاب حاصل با مواد اکسیدی آلوده نشود. با توجه به موارد ذکر شده، کنترل ترکیب شیمیایی مذاب بسیار مهم می‌باشد. بنابراین می‌توان با کنترل دقیق شرایط مذاب، مواد شارژ مناسب، وسایل و تجهیزات ذوب، ترکیب شیمیایی مذاب را کنترل نمود و از آلودگی آن جلوگیری کرد.

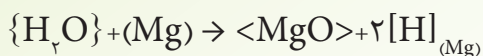
در جدول ۲-۱ درصد اتلاف عناصر مختلف تحت شرایط نوع شارژ و کوره ارائه شده است؛ همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، درصد اتلاف عناصر در برگشتی‌ها و قراضه‌ها نسبت به شمش‌های اولیه در کوره‌های مختلف بیشتر است. از طرف دیگر، درصد اتلاف عناصر در کوره‌های شعله‌ای، که به طور مستقیم شعله در تماس با مذاب است، نسبت به کوره بوت‌های، که شعله در تماس با مذاب نمی‌باشد، بیشتر است. همچنین، درصد اتلاف عناصر در کوره‌های الکتریکی، که فاقد شعله می‌باشند، نسبت به کوره‌های شعله‌ای و بوت‌های به مراتب کمتر می‌باشد.

جدول ۲-۱- درصد تلفات عناصر مختلف تحت شرایط نوع شارژ و کوره

عناصر	شمش‌های اولیه			برگشتی‌ها و قراضه		
	کوره الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره بوت‌های	کوره الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره بوت‌های
آلومینیوم	۱-۱/۲	۱-۲	۱-۱/۵	۱-۲	۲/۵-۳	۱/۵-۲
منیزیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۳-۱۰	۳-۶
برلیوم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۵-۱۰	۳-۶
سدیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۵-۱۰	۴-۷
روی	۱-۳	۲-۴	۱-۳	۲-۳	۳-۵	۲-۴
منگنز	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۱-۲
قلع	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۱/۵-۲
آهن	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
نیکل	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
سیلیسیم	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۱-۲
مس	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۱-۲
سرب	۰/۵-۲	۱-۲	۱-۲	۱-۲	۱/۵-۲/۵	۱-۲

**(و قالب):** مواد قالب نیز می‌تواند موجب آلوده شدن مذاب شود. به این طریق که در اثر برخورد مذاب با مواد قالب، تکه‌هایی از آن جدا شده و وارد مذاب می‌گردد. این مواد، ممکن است در مذاب سبب انجام واکنش‌های

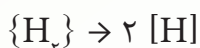
شیمیایی و شیمی – فیزیکی (حل شدن) شوند و در نتیجه، مواد و ترکیبات ناخواسته‌ای ایجاد کنند و سبب کاهش کیفیت و بروز نقص در قطعه ریخته‌گری شوند. به عنوان مثال، وجود رطوبت در مواد قالب، می‌تواند سبب واکنش شیمیایی ترکیب فلز با اکسیژن و واکنش شیمی – فیزیکی حل شدن هیدروژن به صورت اتمی در مذاب شود که در نهایت منجر به ایجاد عیوب سطحی و یا درونی در قطعه ریخته‌گری می‌شود. به عنوان مثال، رطوبت موجود در قالب، با مذاب منیزیم واکنش داده و سبب تشکیل اکسید منیزیم جامد و انحلال هیدروژن در مذاب منیزیم می‌شود. واکنش آن به صورت زیر است:



در هنگام انجماد مذاب، با توجه به کاهش حلالیت هیدروژن در مذاب، هیدروژن محلول از حالت انحلال (اتمی) خارج شده و به صورت مولکول هیدروژن (حباب گاز هیدروژن) در می‌آید. با توجه به اینکه سرعت خروج گاز از سرعت انجماد مذاب پایین‌تر است، گاز در لایه‌های سطحی و یا درون قطعه محبوس شده و باعث ایجاد حفره در قطعه می‌گردد. همچنین مواد قابل تبخیر دیگری مانند رطوبت در قالب وجود دارد که می‌تواند سبب تشکیل حفره در قطعه شود. به عنوان مثال، اکسید آهن موجود در مذاب فولاد یا چدن، با سیلیس قالب واکنش داده موجب کاهش نقطه ذوب سیلیس و چسبیدن مذاب به سیلیس و در نتیجه، ماسه جوش شدن سطح قطعه ریخته‌گری می‌گردد.

### ۳-۱-۲- انحلال گازها در مذاب

مهم‌ترین گازهایی که می‌توانند در مذاب حل شوند، عبارتند از:  $SO_p$ ,  $H_pO$ ,  $CO$ ,  $CO_p$ ,  $H_p$ ,  $O_p$ ,  $N_p$  و غیره. در بین این گازها، گاز هیدروژن، به دلیل دارا بودن کوچک‌ترین قطر اتمی، در بیشتر فلزات و آلیاژها حل می‌شود و به همین دلیل، تحقیقات بسیاری روی انحلال گاز هیدروژن در مذاب انجام شده است. به‌طور کلی، گازها برای انحلال در مذاب، باید ابتدا از حالت مولکولی خارج شده و به حالت اتمی درآیند. به عنوان مثال، برای گاز هیدروژن داریم:



اتمی  $\rightarrow$  مولکولی

انحلال گازها در فلزات به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

**الف) دما:** هرچه دمای فلز افزایش یابد، میزان انحلال گازها در فلز بیشتر خواهد بود. علت این پدیده، این است که با افزایش دما، ارتعاش اتم‌های فلز افزایش پیدا می‌کند. در اثر افزایش ارتعاش، اتم‌ها فاصله بین اتم‌های فلزی زیاد می‌شود و در نتیجه، مقدار گاز بیشتری به صورت اتمی در فلز حل خواهد شد. به طوری که در دماهای بالا، که فلز به صورت مذاب در می‌آید، میزان انحلال اتم‌های گازی بیشتر خواهد شد.

جدول ۲-۲- ارتباط بین انحلال گاز هیدروژن و دمای فلزات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود،



با بالا رفتن دمای فلز، مقدار هیدروژن حل شده در ۱۰۰ گرم از آن فلز، افزایش می‌یابد.

جدول ۲-۲- اثر درجه حرارت بر انحلال هیدروژن در آلومینیوم

مقدار هیدروژن حل شده CC / ۱۰۰gr	درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد	حالت
$1 \times 10^{-7}$	۰	حالت جامد
$1 \times 10^{-3}$	۳۰۰	حالت جامد
$5 \times 10^{-3}$	۴۰۰	حالت جامد
$12 \times 10^{-3}$	۵۰۰	حالت جامد
$26 \times 10^{-3}$	۶۰۰	حالت جامد
$36 \times 10^{-3}$	۶۶۰	حالت جامد
$69 \times 10^{-2}$	۶۶۰	حالت مذاب
$92 \times 10^{-2}$	۷۰۰	حالت مذاب
۱/۰۷	۷۲۵	حالت مذاب
۱/۲۳	۷۵۰	حالت مذاب
۱/۶۷	۸۰۰	حالت مذاب
۲/۱۵	۸۵۰	حالت مذاب

**ب) فشار:** هرچه فشار محیط اطراف فلز مذاب افزایش یابد، انحلال گاز در مذاب بیشتر خواهد شد. علت این پدیده این است که با افزایش فشار محیط اطراف، گازها با نیروی بیشتری به سطح فلز مذاب رانده می‌شوند؛ بنابراین گاز در تماس با مذاب به حالت اتمی درآمد و در آن حل می‌شود.

**ج) عناصر آلیاژی:** عناصر آلیاژی، تأثیر متفاوتی بر روی انحلال گاز در فلزات دارند. به طوری که برخی از آن‌ها، انحلال گاز را افزایش می‌دهند و برخی دیگر کاهش می‌دهند. به عنوان مثال جدول ۳-۲- تأثیر عناصر آلیاژی مختلف را بر روی انحلال هیدروژن در آلومینیوم نشان می‌دهد.

جدول ۲-۳- قابلیت انحلال هیدروژن در آلومینیوم و چند آلیاژ آن

قابلیت انحلال PPM	آلیاژ
۱/۲	آلومینیوم خالص
۰/۸۱	آلیاژ آلومینیوم با ۷ درصد سیلیسیم و ۳ درصد منیزیم
۰/۸۸	آلیاژ آلومینیوم با ۴/۵ درصد مس
۰/۶۷	آلیاژ آلومینیوم با ۱۶ درصد سیلیسیم و ۳/۵ درصد مس
۱/۱۵	آلیاژ آلومینیوم با ۴ درصد منیزیم و ۲ درصد سیلیسیم

### در پایان جلسه:

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