

۱- حضور و غیاب

۲- پیش آزمون

۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- چگونگی ایجاد مک‌های گازی

- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی

- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب

ابتدا هنرآموز محترم چند سؤال در جهت آمادگی ذهنی هنرجو بیان نماید.

۱- به نظر شما، مک‌های گازی چگونه در قطعات ریختگی ایجاد می‌شود؟

۲- آیا حلالیت گاز در فلز در حالت‌های جامد و مایع یکسان است؟

۳- به نظر شما، با چه روشی می‌توان وجود مک در قطعات ریختگی را تشخیص داد؟

### ۴-۱-۲- چگونگی ایجاد مک‌های گازی

با توجه به جدول ۲-۲ مشاهده می‌شود که هرچه دمای فلز بالا رود، میزان حلالیت گازها در آن بیشتر خواهد بود. در نتیجه، در هنگام ذوب میزان حلالیت نسبت به حالت جامد بیشتر خواهد بود. بنابراین، هنگامی که به یک فلز گرما داده می‌شود تا ذوب شود و به دمای فوق‌گداز برسد، مقداری گاز در آن حل خواهد شد که نسبت به حالت جامد فلز، میزان گاز حل شده، بیشتر خواهد بود. حال هنگامی که این مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، با گذشت زمان، دمای مذاب کاهش یافته و میزان حلالیت گازها در مذاب نیز، در نتیجه آن، کاهش خواهد یافت. در چنین حالتی اتم‌های گازهای مازاد بر حد حلالیت مذاب به تدریج از حالت اتمی در مذاب خارج شده و به صورت مولکولی یا حباب در می‌آید. این گازها (حباب‌ها) به تدریج به سمت سطح مذاب حرکت کرده و آرام‌آرام از سطح مذاب خارج می‌شوند. سرعت خروج حباب‌های گازی از مذاب به عوامل مختلفی مانند گران روی مذاب، اندازه حباب، شکل و عمق پاتیل بستگی دارد؛ به عبارت دیگر، هرچه گران روی مذاب بیشتر باشد، چسبندگی بین اتم‌های مذاب بیشتر است. بنابراین، حرکت این حباب‌ها کند می‌شود و در نتیجه، سرعت خروج آن‌ها کمتر خواهد شد. هرچه حباب گازی ریزتر باشد، سرعت خروج آن‌ها از مذاب کمتر خواهد بود؛ چون باید بر نیروی وزن

مذاب بالای حباب گازی غلبه نماید. بنابراین، هرچه حباب کوچک تر باشد، سرعت حرکت آن در مذاب به سمت بالا کمتر خواهد بود. هرچه عمق پاتیل بیشتر باشد، حباب‌های کف پاتیل باید بر نیروی وزن مذاب بیشتری که بالای آن‌ها وجود دارد؛ غلبه کند. بنابراین، سرعت خروج آن‌ها کمتر خواهد بود.

گران روی مذاب با کاهش دما، افزایش می‌یابد. بنابراین، با افزایش گران روی مذاب، چسبندگی اتم‌های مذاب به یکدیگر بیشتر شده و حباب‌های گازی به سختی می‌توانند بر نیروی چسبندگی پیوند اتم‌ها غلبه کنند تا از مذاب خارج شوند. در نتیجه، سرعت خروج حباب‌های گازی با کاهش دمای مذاب به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین با شروع انجماد، به علت به وجود آمدن ذرات جامد در مذاب که خود مانعی بر سر راه حباب‌های گازی هستند، سرعت حرکت حباب‌های گازی افت بیشتری می‌یابد. در این حالت، دو پدیده مهم در تشکیل حباب‌های گازی مؤثرند که عبارتند از:

**الف) خروج گازها از حلالیت:** در بسیاری از فلزات و آلیاژها، میزان حلالیت گازها در حالت جامد و مذاب بسیار زیاد است به طوری که معمولاً حلالیت گازها در مذاب فلزات بسیار بیشتر از حالت جامد فلز است. به عنوان مثال، حلالیت هیدروژن در چند فلز در حالت جامد و مذاب در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. با افزایش دما، حلالیت هیدروژن به صورت یکنواخت در حالت جامد یا در حالت مذاب افزایش می‌یابد؛ اما در دمای ذوب، در بعضی از فلزات مانند آلومینیوم، نیکل و آهن، حلالیت گاز در مذاب به مقدار بسیار زیادی نسبت به فلز جامد افزایش یافته است، اما در بعضی از فلزات مانند مس مقدار این افزایش کمتر است.

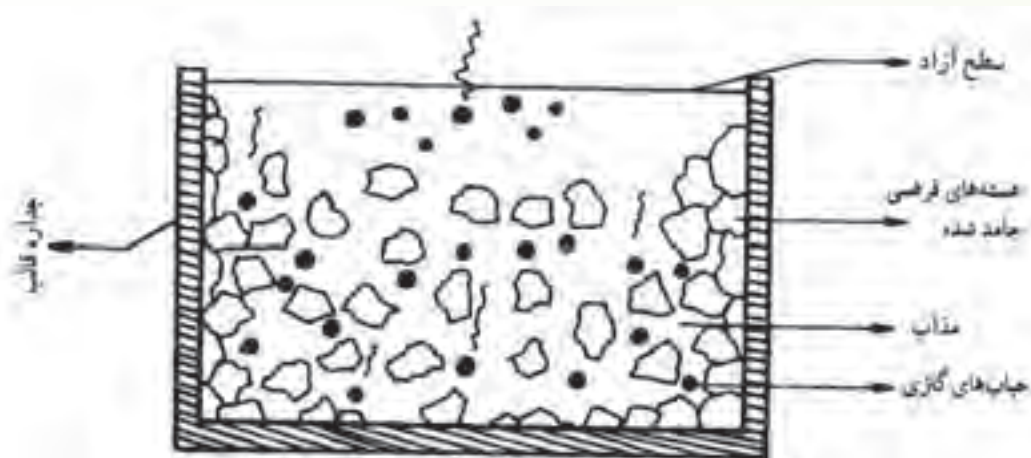


شکل ۱-۲- تأثیر درجه حرارت در حلالیت هیدروژن

با توجه به نمودار می بینیم که در زمان انجماد، مقدار زیادی گاز محلول در مذاب از حالت اتمی یا انحلال خارج شده و به حالت مولکولی تبدیل می شود. به طوری که در دمای انجماد، تشکیل حباب گازی ناگهان چند برابر افزایش می یابد؛ به عبارت دیگر، مقدار زیادی از گازهای حل شده در مدت زمان کوتاهی، به دلیل تبدیل ساختار مذاب به جامد و کاهش فاصله بین اتم های فلز در حالت جامد، از حالت اتمی خارج شده و به صورت حباب های گازی در می آیند. به عنوان مثال، می توان نقطه انجماد نیکل را در شکل ۲-۱ مشاهده نمود.

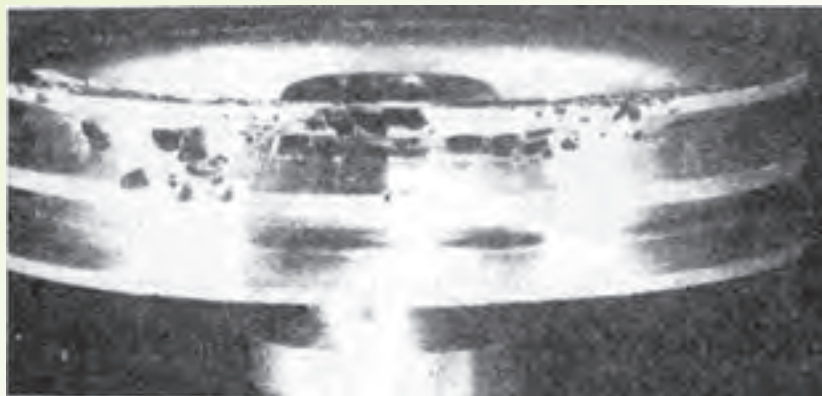
**ب) محبوس شدن حباب ها:** همان طور که گفته شد، مقدار زیادی حباب گازی در هنگام انجماد در مدت زمان کوتاهی تشکیل می شود. اگر بتوان به گونه ای این حباب های گازی را از مذاب خارج نمود، پس از انجماد در قطعه ریخته گری هیچ گونه مک و تخلخل گازی وجود نخواهد داشت. اما در عمل اینگونه نیست! زیرا با کاهش دما، گران روی مذاب افزایش می یابد؛ از طرف دیگر، در حین انجماد، هسته های جامد به طور پراکنده در مذاب به وجود می آیند که خود به عنوان مانع، در برابر حرکت حباب های گازی عمل می کنند. بنابراین، سرعت خروج حباب های گازی در هنگام انجماد بسیار کاهش می یابد، به طوری که حباب های گازی در لابه لای ذرات جامد محبوس می شوند و پس از انجماد، مک یا تخلخل گازی در قطعه ایجاد می نماید.

این موضوع، به طور شماتیک در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- نمای شماتیک از محبوس شدن حباب های گازی در لابه لای ذرات جامد ایجاد شده

به عبارت دیگر، حجم زیاد گازهای تولید شده در یک مدت زمان کوتاه در هنگام انجماد و وجود موانع، مانند هسته های جامد، افزایش گران روی مذاب، در مسیر خروج حباب های گازی علت اصلی ایجاد مک های گازی در قطعات ریخته گری می باشد. به عنوان مثال، شکل ۲-۳ نمونه ای از مک های ایجاد شده ناشی از محبوس شدن حباب های گازی را در یک قطعه ریخته گری نشان می دهد.



شکل ۳-۲- آلیاژ آلومینیوم قالب ماسه‌ای تر

### ۵-۱-۲- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی:

عوامل زیادی در ایجاد مک‌های گازی در قطعه ریختگی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

**الف) مقدار اختلاف حلالیت گاز در حالت جامد و مذاب:** با توجه به موارد ذکر شده، واضح است که هرچه میزان حلالیت گاز در مذاب نسبت به جامد بیشتر باشد مذاب مقدار گاز بیشتری را در خود حل می‌کند. در نتیجه، در هنگام انجماد، حجم حباب‌های گازی نسبتاً زیادی در مدت زمان کوتاهی ایجاد می‌شود که خروج آن‌ها به‌طور کامل امکان‌پذیر نیست (با توجه به مطالب ذکر شده در قبل). بنابراین، مقدار زیادی از این حباب‌های گازی در قطعه محبوس می‌شود. به عنوان مثال، چون مقدار اختلاف حلالیت هیدروژن در حالت جامد و مذاب فلز آلومینیوم از فلز مس بیشتر است (مطابق شکل ۱-۲)، پس مقدار مک‌های گازی ناشی از گاز هیدروژن در آلیاژهای آلومینیوم به مراتب بیشتر از آلیاژهای مس است.

**ب) نوع انجماد:** همانطور که در فصل چهارم توضیح داده خواهد شد، آلیاژها معمولاً به دو صورت پوسته‌ای و خمیری منجمد می‌شوند. آلیاژهایی که دامنه انجماد آن‌ها بسیار زیاد است، یا به عبارت دیگر، فاصله بین دمای شروع و پایان انجماد آن‌ها زیاد است، به صورت خمیری که مخلوطی از مذاب و ذرات جامد می‌باشد، منجمد می‌شود. آمار آلیاژهایی که دامنه انجماد آن‌ها کوتاه است و به صورت لایه‌لایه منجمد می‌شوند به انجماد پوسته‌ای معروف است. با توجه به این مطالب در می‌یابیم که در آلیاژهایی که دارای انجماد خمیری هستند، چون جبهه انجماد شامل مذاب به همراه ذرات جامد می‌باشد، مقدار حباب‌های گازی محبوس شده نسبت به حالتی که جبهه انجماد پوسته‌ای است یا مذاب به صورت لایه‌لایه منجمد می‌شود، بیشتر خواهد بود. بنابراین، میزان مک‌های گازی در آلیاژهای با جبهه انجماد خمیری بیشتر خواهد بود.

**ج) سرعت سرد کردن مذاب:** همان‌طور که ذکر شد، اگر تمام حباب‌های گازی ایجاد شده در مذاب در

هنگام انجماد از مذاب خارج شوند، در قطعه هیچ گونه مک و تخلخل گازی ایجاد نخواهد شد. بنابراین اگر به مذاب فرصت کافی داده شود، یا به عبارت دیگر سرعت سرد شدن مذاب بسیار کم باشد، حباب‌های گازی امکان خروج از مذاب را پیدا می‌کنند؛ در نتیجه، مقدار مک‌های گازی در قطعه کمتر خواهد شد. از سرعت سرد کردن بسیار آهسته در شرایط معمول ریخته‌گری غیر عملی است و مذاب با سرعت بیشتری سرد خواهد شد. اما اگر مذاب با سرعت بالایی سرد شود، به طوری که اتم‌های گازی محلول در مذاب، فرصت خارج شدن از حالت اتمی و تشکیل حباب گازی را نداشته باشند، دیگر هیچ‌گونه حباب گازی در مذاب ایجاد نخواهد شد. در این صورت گازها در مذاب به صورت محلول فوق اشباع باقی می‌مانند و از خروج آن‌ها از حلالیت، جلوگیری می‌شود. به این ترتیب، قطعه ریختگی حاصل، فاقد مک و تخلخل گازی خواهد بود. برای مثال، در روش‌های ریخته‌گری ویژه و آب‌گرد، با توجه به سرعت بالای انجماد، حباب‌های گازی در مذاب تشکیل نشده و قطعه ریختگی فاقد مک گازی خواهد بود.

**د) آخال‌ها (ناخالصی‌ها):** معمولاً مذاب فلزات با مقادیری ناخالصی‌های جامد مانند اکسیدها و غیره همراه می‌باشد که در مراحل مختلف ذوب وارد مذاب شده‌اند. این آخال‌ها (ناخالصی‌ها) معمولاً به دلیل شکل غیرهندسی خود، مقدار زیادی ریز مک‌های گازی در مذاب وارد می‌کنند. بنابراین، میزان حباب‌های گازی در مذاب افزایش یافته و موجب افزایش مک‌های گازی در قطعه ریختگی خواهد شد. بنابراین حضور آخال‌ها و ناخالصی‌ها در مذاب، در تشکیل حباب‌های گازی بسیار مؤثر است.

به طور کلی، برای تولید قطعات ریختگی سالم و عاری از مک گازی ابتدا باید آخال‌ها را از مذاب به طریقی جدا نمود.

**ه) عناصر آلیاژی:** همان‌طور که در جلسه قبل ذکر شد، عناصر آلیاژی بر میزان حلالیت گاز در مذاب تأثیر دارد. بنابر این، اگر عنصر آلیاژی سبب افزایش حلالیت گاز در مذاب شود، در هنگام انجماد مذاب مقدار زیادی حباب گازی ایجاد خواهد شد که منجر به افزایش مک‌های گازی در قطعه ریختگی خواهد شد. از طرف دیگر، عناصر آلیاژی سبب افزایش دامنه انجماد شده که سبب ایجاد جبهه انجماد خمیری می‌شود که خود باعث محبوس شدن بیشتر حباب‌های گازی ایجاد شده در حین انجماد و در نتیجه افزایش مک‌های گازی در قطعه ریختگی می‌شود.

**و) سیستم راهگامی:** اگر سیستم راهگامی به گونه‌ای طراحی شود که هوا در قالب حبس شود، قطعه ریختگی حاصل، پر از مک‌های درشت خواهد بود. بنابراین، سیستم راهگامی باید طوری طراحی شود که از حبس هوا در قالب جلوگیری کند و حباب‌های گازی ایجاد شده در مذاب را به خارج انتقال دهد تا میزان مک‌های گازی در قطعه ریختگی کاهش یابد.

**ز) شکل، اندازه و وزن قطعه:** مشخص است که هرچه اندازه قطعات ریختگی کوچک باشند چون مقدار

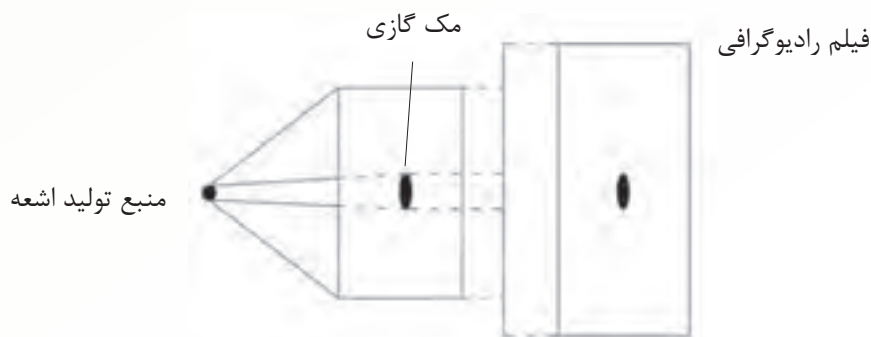


مذاب موردنیاز کم می‌باشد اولاً مقدار حباب گازی کمتری در مذاب ایجاد می‌شود ثانیاً حباب‌های ایجاد شده در مذاب، مسافت کمتری را برای خارج شدن از سطح مذاب طی خواهند کرد. بنابراین، مقدار مک‌های گازی کمتر خواهد بود. اما در قطعات بزرگ و پیچیده با توجه به حجم زیاد مذاب، مقدار حباب‌های ایجاد شده بیشتر می‌شود و باید مسافت بیشتری را برای خروج از مذاب طی کنند. بنابراین، مقدار مک‌های گازی در قطعات بزرگتر نسبت به قطعات کوچک‌تر بیشتر می‌باشد.

### ۶-۱-۲- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب

مک‌های گازی در قطعه ریختگی باعث کاهش خواص مکانیکی قطعه می‌شوند. به همین منظور برای اطمینان از میزان گاز موجود در مذاب، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری گاز در مذاب وجود دارد که این روش‌ها عبارتند از:

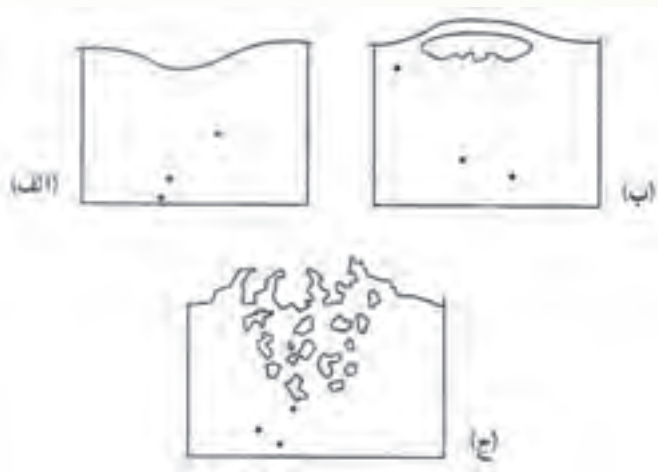
**الف) رادیوگرافی قطعات ریخته‌گری شده با اشعه ایکس (X):** این روش با استفاده از اشعه X برای نشان دادن حفرات، مک‌ها و فضاهای خالی در قطعات ریختگی به کار می‌رود. روش کار به این صورت است که در یک سمت قطعه، منبع تولید اشعه X قرار داده می‌شود و در سمت دیگر قطعه، فیلم رادیوگرافی قرار می‌گیرد. سپس اشعه X از منبع آن ساطع شده و از درون قطعه می‌گذرد تا به فیلم رادیوگرافی برسد. در صورتی که قطعه فاقد فضای خالی یا مک گازی باشد، فیلم رادیوگرافی در تمام نقاط به رنگ روشن درخواهد آمد. چون از تمام قسمت‌های قطعه که از جنس فلز می‌باشند با سرعت یکسان عبور می‌نماید. اما اگر درون قطعه فضای خالی، مانند حفره یا مک وجود داشته باشد، با توجه به اینکه اشعه از فلز وارد مک یا فضای خالی می‌شود، بنابراین میزان جذب اشعه توسط فلز کاهش یافته و در قسمتی که حفره یا مک گازی وجود داشته باشد اشعه بیشتری به این فیلم رادیوگرافی رسیده و سبب تیره شدن آن قسمت از فیلم می‌شود. بنابراین، در قطعاتی که مک گازی وجود دارد، مک‌های گازی در روی فیلم به صورت نقاط تیره دیده می‌شوند.



شکل ۲-۴

**ب) مشاهده سطح نمونه قطعه ریخته شده:** این روش یک روش کارگاهی می‌باشد که می‌توان با

استفاده از آن، به خصوص در مورد مذاب آلومینیوم، میزان گاز موجود در مذاب را به صورت کیفی مشخص نمود. برای این منظور، قالب‌های استوانه‌ای از جنس ماسه خشک به قطر و ارتفاع ۷/۵ تا ۹ سانتی‌متر تهیه می‌شود. سپس از مذاب فلزی که آماده ریخته‌گری است، مقداری مذاب داخل قالب‌های استوانه‌ای بار ریزی می‌شود تا پس از مدتی کاملاً منجمد شود؛ نمونه‌های منجمد شده را از قالب خارج نموده و سطح آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند، در صورتی که سطح نمونه فرو رفته، صاف و براق باشد، نشان دهنده عدم وجود گاز در مذاب می‌باشد اما در صورتی که سطح نمونه بدون فرورفتگی و برآمدگی باشد، نشان دهنده وجود مقداری گاز در مذاب است که هنگام انجماد در لایه‌های سطحی نمونه محبوس شده است. همچنین، اگر سطح نمونه برآمده و خشن باشد نشان دهنده وجود مقدار زیادی گاز در مذاب می‌باشد که در حین انجماد مقداری از آن خارج شده و خروج آن تا انجماد کامل ادامه یافته است. این عمل موجب انجماد مجراهای خروج گاز به همان شکل شده و خشن شدن سطح نمونه گردیده است. شکل ۲-۵ الف، ب و ج به ترتیب سطح نمونه‌های فاقد گاز، دارای مقداری گاز، و دارای گاز زیاد را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵- شماتیک نمونه‌های استوانه‌ای برای آزمایش وجود گاز

**ج) انجماد نمونه تحت شرایط خلأ:** در این روش، مقدار کمی مذاب در حد چند صد گرم در شرایط خلأ منجمد می‌شود. با توجه به وجود خلأ و کاهش فشار محیط خارجی، نمونه گازهای ایجاد شده در مذاب در هنگام انجماد، به سرعت از قطعه خارج می‌شود و خشن شدن سطح قطعه در اثر شکسته شدن حباب‌های گازی می‌شود. تعداد و اندازه حباب‌های شکسته شده در سطح و مک‌های تشکیل شده در نمونه منجمد، نشان دهنده مقدار تقریبی گاز است که هرچه قدر این مک‌ها بیشتر باشد، مقدار گاز مذاب بیشتر خواهد بود. شکل ۲-۶ نمای از دستگاه اندازه‌گیری گاز در خلأ و شکل شماتیک انجماد در شرایط خلأ را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲- اندازه‌گیری گاز تحت شرایط خلأ

(د) **آزمایش وزن مخصوص:** در این روش، جرم حجمی قطعه دارای مک اندازه‌گیری می‌شود و با جرم حجمی واقعی آلیاژ مقایسه می‌شود. به این ترتیب که جرم قطعه با استفاده از ترازو اندازه‌گیری می‌شود و حجم قطعه با استفاده از غوطه‌ور نمودن آن در ظرفی که حاوی مقدار معینی مایع است (با استفاده از اختلاف حجم ایجاد شده در مایع) اندازه‌گیری می‌شود. نسبت جرم قطعه به حجم آن، نشان دهنده جرم حجمی قطعه می‌باشد. از مقایسه جرم حجمی قطعه دارای مک، با جرم حجمی واقعی آلیاژ مشخص می‌شود که جرم حجمی قطعه دارای مک کمتر از جرم حجمی آلیاژ می‌باشد. از طرف دیگر می‌توان با استفاده از رابطه ساده زیر، درصد حجمی تخلخل یا مک موجود در قطعه را مشخص نمود.

$$\% V = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} \times 100$$

که در آن :

$\rho_0$ : جرم حجمی آلیاژ سالم

$\rho$ : جرم حجمی نمونه یا قطعه ریخته‌گری

$V$ : درصد مک یا تخلخل

(ه) **روش التراسونیک:** با استفاده از امواج صوتی، می‌توان به وجود عیوب داخلی در قطعه پی‌برد؛ به طوری که اگر به یک قطعه سالم با چکش ضربه زده شود، در تمام قسمت‌های قطعه صدای ضربه یکنواخت خواهد بود. اما اگر در یک قسمت قطعه، عیبی وجود داشته باشد در آن قسمت صدای ضربه متناسب با ابعاد عیب متفاوت خواهد بود. دلیل این پدیده، اختلاف سرعت صوت در محیط‌های مختلف می‌باشد؛ به طوری که سرعت صوت در فلز با سرعت صوت در هوا یا مواد دیگر متفاوت است.



در روش التراسونیک، از همین پدیده استفاده می‌شود؛ اما به جای امواج صوتی معمولی از امواج ماوراء صوت با فرکانس ۱ تا ۵ میلیون هرتز استفاده می‌شود که قابل شنیدن نمی‌باشد. این امواج، امواج التراسونیک نامیده می‌شود. در این روش، امواج التراسونیک توسط پراب‌های مخصوص که از جنس مواد پیزوالکتریک می‌باشد (این مواد جریان الکتریکی را به امواج صوتی تبدیل می‌کنند و برعکس) به سطح قطعه فلزی ساطع می‌شود. سرعت این امواج در هر فلزی متناسب با جنس آن می‌باشد. اگر قطعه فاقد حفره باشد، زمان رفت و برگشت این امواج در قسمت‌های مختلف قطعه با ضخامت یکسان، ثابت خواهد بود. اما اگر در قسمتی از قطعه، مک‌گازی وجود داشته باشد، چون سرعت این امواج در گاز با هوا صفر است، زمان رفت و برگشت امواج در این قسمت قطعه نسبت به سایر قسمت‌های آن با ضخامت یکسان، کمتر خواهد بود. این کاهش زمان رفت و برگشت به صورت قله‌هایی (پیک‌هایی) در صفحه نمایش دستگاه التراسونیک دیده می‌شود و به کمک آن، می‌توان محل و اندازه تقریبی مک‌گازی در قطعه را مشخص نمود. این روش، امروزه در بسیاری از صنایع برای شناسایی و تعیین اندازه عیوب قطعات فلزی به کار می‌رود. لازم به ذکر است که در این روش به قطعه هیچ گونه آسیبی وارد نمی‌شود و پس از انجام آن، می‌توان از قطعه در محل خود استفاده نمود. به همین دلیل این روش یکی از روش‌های تست و آزمایش غیر مخرب سریع 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-پیش آزمون
- ۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

### موضوع:

## - روش‌های جلوگیری از مک‌های گازی - روش‌های گاززدایی.

برای درک بهتر مفاهیم و آماده‌سازی ذهنی هنرجویان، هنرآموز محترم سؤالاتی را طرح و بحث نماید.

- ۱- به نظر شما، چه روش‌هایی جهت جلوگیری از تشکیل مک‌های گازی در قطعه وجود دارد؟
- ۲- آیا استفاده از مواد بار آغشته به روغن و دیگر ترکیبات تأثیری بر تشکیل مک‌های گازی در قطعه ریختگی می‌گذارد؟
- ۳- جهت کاهش تأثیر اتمسفر کوره ذوب بر مذاب و تشکیل مک‌های گازی قطعه ریختگی چه باید کرد؟
- ۴- به نظر شما، خارج کردن گاز از مذاب بهتر است در چه مرحله از ذوب یا انجماد قطعه ریختگی صورت پذیرد؟
- ۵- چه روش‌هایی را برای گاززدایی مذاب پیشنهاد می‌کنید. آیا می‌توان از گازهای دیگر برای گاززدایی مذاب استفاده کرد؟

### ۷-۱-۲- روش‌های جلوگیری از مک‌های گازی

برای تولید قطعات ریختگی فاقد مک‌های گازی، منطقی‌ترین روش، کاهش مقدار گاز حل شده در مذاب می‌باشد زیرا هر چه میزان گاز حل شده در مذاب کم‌تر باشد، در نتیجه پس از ریخته‌گری در قالب و انجماد مذاب، مقدار حباب گاز کم‌تری ایجاد و در قطعه محبوس می‌شود و در نهایت مقدار مک‌های گازی در قطعه کم خواهد شد. بهترین روش برای جلوگیری از تشکیل مک‌های گازی در قطعه ریختگی، جلوگیری از ورود گاز به داخل مذاب می‌باشد. به همین منظور، باید عوامل ورود گاز به مذاب شناسایی شود و از ورود آن‌ها به داخل مذاب جلوگیری شود. برای پیش‌گیری از ورود گاز به مذاب، روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

**الف) مواد بار و کمک ذوب:** با توجه به مواردی که در جلسات قبل ذکر شد، اگر مواد بار کوره آلوده به

روغن، ترکیبات اکسیدی و دیگر ترکیبات ناخواسته باشد، هنگام ذوب، این ترکیبات ناخواسته بر اثر گرما، از خود

گاز متصاعد می‌کنند که موجب افزایش میزان گاز حل شده به صورت اتمی در مذاب خواهد شد. بنابراین، اولین راه برای جلوگیری از ورود گاز به داخل مذاب، استفاده از مواد شارژ و کمک ذوب تمیز و عاری از رطوبت است. چون معمولاً مواد بار کوره شامل قراضه‌ها، مواد برگشتی و سوفاره‌ها است و این مواد معمولاً به همراه خود رطوبت، مواد روغنی، ترکیبات اکسیدی و غیره دارند، بهتر است قبل از استفاده شست‌وشو و کاملاً خشک شوند تا در حین عملیات ذوب، سبب ورود گاز به داخل مذاب نشوند.

**ب) اتمسفره کوره ذوب:** معمولاً در کوره‌هایی که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند، اتمسفر کوره شامل گازهایی نظیر هیدروژن، منواکسید کربن، دی‌اکسید کربن، بخار آب و دی‌اکسید گوگرد، می‌باشند. معمولاً این گازها در تماس با مذاب هستند و سبب ورود گاز به داخل مذاب می‌شوند. در صورتی که احتراق کوره به صورت ناقص انجام شود، درصد این گازها بیشتر شده و احتمال ورود گاز به مذاب افزایش می‌یابد. بنابراین در کوره‌های شعله‌ای بهتر است احتراق کوره به صورت کنترل شده باشد تا از ایجاد گازهای اضافی جلوگیری کند و میزان گاز کمتری وارد مذاب گردد.

**ج) زمان ذوب و نگهداری:** هر چه زمان ذوب بار کوره افزایش یابد، زمان تماس گازهای موجود در محیط اطراف مذاب با مذاب افزایش می‌یابد و با توجه به دمای بالای ذوب، گازهای بیشتری تمایل می‌یابند که به حالت اتمی در مذاب حل شوند. بنابراین، میزان گاز موجود در مذاب به صورت حل شده افزایش می‌یابد. همچنین نگهداری طولانی مذاب نیز سبب افزایش زمان تماس مذاب با گازهای محیط اطراف مذاب می‌شود که موجب افزایش میزان گاز حل شده در مذاب خواهد شد. بنابراین از طولانی شدن زمان ذوب و نگهداری مذاب باید جلوگیری شود.

**د) سطح مذاب:** هر چه بوته و یا پاتیل نگهداری مذاب بزرگ‌تر باشد، سطح مذاب درون آن بیشتر خواهد بود. بنابر این، مقدار مذاب بیشتری در تماس با گازهای محیط اطراف مذاب خواهد بود و این فرصت را خواهند داشت که به حالت اتمی در مذاب حل شوند. پس بهتر است که سطح مذاب کاهش داده شود تا گاز کمتری در تماس با سطح مذاب قرار گیرد و در نهایت انحلال گاز در مذاب کمتر شود.

**ه) استفاده از مواد پوششی:** برای جلوگیری از تماس گازهای محیط اطراف مناسب با سطح مذاب، می‌توان از موادی استفاده نمود که ارتباط بین محیط اطراف مذاب با سطح مذاب را قطع کنند و در نتیجه میزان گاز حل شده در مذاب را کمتر خواهد کرد. این مواد به مواد پوششی معروف بوده که در سر باره مذاب قرار می‌گیرد.

**و) دمای ذرات مذاب:** همان‌طور که در جلسات قبل گفته شد هر چه دمای مذاب افزایش یابد، میزان حلالیت گاز در مذاب بیشتر خواهد شد. بنابراین، برای کاهش مقدار گاز حل شده در مذاب بهتر است دمای مذاب کنترل شود و از افزایش بی‌رویه دمای مذاب جلوگیری شود.

**ز) تلاطم مذاب:** در صورتی که مذاب ساکن و بدون تلاطم باشد، میزان گاز جذب شده در آن مقدار مشخصی خواهد بود. چون سطح خارجی مذاب ثابت است، اما اگر مذاب دارای تلاطم باشد، از یک سو سطح در تماس مذاب با گازهای محیط اطراف آن بیشتر شده و در نتیجه میزان انحلال آن افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، ممکن است در اثر تلاطم مذاب، ناگهان مقداری از گازهای موجود در محیط اطراف مذاب، در مذاب محبوس شده و موجب افزایش میزان انحلال آن را در مذاب و یا حذف گاز در حین بارریزی قطعه ریختگی گردد.

**ح) سیستم راهگامی:** سیستم راهگامی باید به گونه‌ای طراحی گردد که از تلاطم مذاب در حین بارریزی و در نتیجه محبوس شدن گاز در مذاب جلوگیری نماید. و گازهای ایجاد شده در مذاب را از قالب به طور مطلوبی به خارج هدایت کند و از ایجاد مک گازی در قطعه جلوگیری شود.

### ۸-۱-۲- روش‌های گاز زدایی

**الف) روش‌های گاز زدایی با استفاده از کاهش فشار خارجی:** همان طوری که در جلسات قبل گفته شد میزان فشار خارجی محیط اطراف مذاب در حلالیت گاز در مذاب مؤثر است. به عبارت دیگر، هرچه فشار خارجی محیط اطراف مذاب بیشتر باشد. میزان گاز بیشتری در مذاب حل خواهد شد. از طرف دیگر هرچه فشار محیط خارجی مذاب کاهش یابد، مقدار گاز کمتری در مذاب حل می‌شود. این پدیده به قانون سیورت معروف است. با توجه به این قانون، می‌توان نتیجه گرفت که اگر فشار خارجی محیط اطراف مذاب کاهش یابد، گازهای حل شده از حالت اتمی خارج شده و به حالت مولکولی و یا حباب گازی در می‌آیند. به عبارت دیگر حلالیت گاز در مذاب کاهش می‌یابد. با توجه به این موضوع، اگر مذاب تحت شرایط خلأ قرار گیرد، چون فشار محیط اطراف مذاب به شدت کاهش یافته، گازهای حل شده در مذاب، مانند هیدروژن، به شکل مولکولی و حباب در آمده که این حباب‌ها به سطح مذاب صعود کرده و از مذاب خارج می‌شوند.

با این روش، امکان تولید قطعه‌هایی با کیفیت بالا مورد استفاده در صنایع با تکنولوژی بالا میسر شده است. روش گاززدایی در خلأ بیشتر برای آلیاژهای با نقطه ذوب پایین کاربرد دارد؛ زیرا در دماهای بالا، برای ایجاد خلأ به نیاز تجهیزات بسیار گران قیمت است که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. همچنین آلیاژهایی که دارای فشار بخار زیاد هستند، با این روش امکان پذیر نیست. چون، در اثر ایجاد خلأ مقدار زیادی از مذاب فلز به صورت بخار درآمده که موجب اتلاف مقدار زیادی مذاب فلز خواهد شد.

از محدودیت‌های دیگر این روش، می‌توان به طولانی شدن زمان گاز زدایی اشاره کرد، که موجب کاهش دمای مذاب خواهد شد و خود ممکن است سبب بروز عیب‌های دیگری در قطعه ریختگی، مانند نیامد مذاب شود.

### ب) روش‌های گاززدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب

۱- با افزایش فشار داخلی مذاب، گازهای حل شده در مذاب از حالت اتمی خارج شده و به صورت مولکولی

یا حباب گازی در می‌آیند علت، این است که در اثر افزایش فشار درونی مذاب، حرکت اتم‌های مذاب افزایش پیدا کرده و در نتیجه، امکان حرکت اتم‌های گاز در مذاب و تجمع آن‌ها در نقاطی از مذاب، افزایش می‌یابد. این پدیده، موجب تشکیل راحت‌تر مولکول یا حباب‌های گازی می‌شود.

۲- با افزایش فشار درونی مذاب، سرعت حرکت اتم‌های گازی در مذاب افزایش می‌یابد که در صورت تزریق گازهای دیگر در مذاب، اتم‌های گازی حل شده در مذاب این امکان را پیدا می‌کنند که خود را به حباب‌های گاز تزریق شده برسانند و به راحتی جذب آن‌ها شوند.

۳- جذب اتم‌های گازی حل شده در مذاب توسط حباب‌های گازی تزریق شده، سبب افزایش سرعت ورود گازهای حل شده در مذاب خواهد شد.

افزایش فشار درونی مذاب، یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین روش‌های گاززدایی باشد که خود به چند روش مختلف تقسیم می‌شود.

### **- استفاده از گازهای بی‌اثر**

در این روش گازهای بی‌اثری مانند هلیم، یا آرگون که میل ترکیب شدن با مذاب یا حل شدن در مذاب را ندارند، به مذاب تزریق می‌شود. این تزریق، از پایین‌ترین نقطه مذاب، یعنی پایین بوته یا پاتیل، صورت می‌گیرد. در ابتدای عملیات تزریق گاز بی‌اثر به مذاب، فشار جزئی گازهای محلول در داخل حباب گاز بی‌اثر، صفر است؛ ولی در مسیر حرکت حباب‌های گاز بی‌اثر از انتهای پاتیل به سمت سطح بالای مذاب و با افزایش فشار درونی مذاب، مقدار جذب گاز محلول در مذاب، افزایش می‌یابد. با ادامه تزریق گاز بی‌اثر و ایجاد حباب‌های زیاد گاز بی‌اثر و حرکت آن‌ها به سمت سطح مذاب، مقدار بیشتری گاز محلول در مذاب، جذب حباب‌های گاز بی‌اثر شده که موجب کاهش میزان گاز حل شده در مذاب می‌شود. لازم به ذکر است که با این روش، نمی‌توان تمام گازهای محلول در مذاب را خارج نمود ولی مقدار زیادی از گازهای محلول در مذاب خارج خواهد شد.

گازهای بی‌اثر مورد استفاده در این فرآیند، گازهایی نظیر آرگون و هلیم می‌باشد که هیچ‌گونه تأثیری روی فلزات و آلیاژها ندارند. اما هزینه استفاده از این گازها بسیار زیاد است. به همین منظور، می‌توان برای گاززدایی هر مذابی، از یک گاز ارزان قیمت که نسبت به آن مذاب بی‌اثر می‌باشد، استفاده نمود به عنوان مثال، گاز نیتروژن برای آلومینیوم و آلیاژهای آن بی‌اثر محسوب می‌شود. بنابراین، می‌توان از گاز نیتروژن برای گاززدایی آلومینیوم و اکثر آلیاژهای آن استفاده نمود. اما گاز نیتروژن برای چدن بی‌اثر نبوده و در آن حل می‌شود. گاز نیتروژن سبب افزایش میزان گازهای محلول در مذاب چدن می‌شود. پس نمی‌توان از گاز نیتروژن برای گاززدایی مذاب چدن استفاده نمود در جدول ۴-۲ فلزات و آلیاژهای مختلف به همراه گازها و ترکیباتی که نسبت به آن فلز و یا آلیاژ بی‌اثر محسوب می‌شوند و می‌توان از آن‌ها برای گاززدایی آن آلیاژ استفاده نمود، آمده است.



جدول ۴-۲- چگونگی گاززدایی و تصفیه مذاب از گازها و آخال‌ها

نوع فلز اصلی	گاز	نوع واکنش	نام عملیات	مواد مؤثر بر عملیات کیفی
آلومینیوم	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Al)</sub>	گاززدایی	ازت، کلر، مخلوط ۳۰-۷۰ و با ۱۰-۹۰ ازت و کلر مواد قابل تبخیر نظیر CCl <sub>۴</sub> ، C <sub>۲</sub> Cl <sub>۶</sub> انواع کلرورها و فلئورهای چندگانه
	O <sub>۲</sub>	ترکیبی <Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> >	آخال زدایی	کلرورها و فلئورهای سدیم، پتاسیم و گاه کلسیم
فولاد	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Fe)</sub>	گاززدایی	گاز CO در ضمن تصفیه مقدار هیدروژن را کاهش می‌دهد.
	O <sub>۲</sub>	انحلالی [O] <sub>(Fe)</sub> ترکیبی انواع اکسیدها	اکسیژن زدایی فلاکس زنی	منیزیم، آلومینیوم، تیتانیم، سیلیسیم و آلیاژهای آن‌ها استفاده از فلاکس‌های حاوی کلسیم و سدیم عموماً براساس ترکیبات کربناتی و کاربیدی
	S	انحلالی [S] <sub>(Fe)</sub>	گوگرد زدایی	مواد حاوی منیزیم، منگنز، کلسیم، کاربید کلسیم
مس	N <sub>۲</sub>	انحلالی [N] <sub>(Fe)</sub> ترکیبی نیترورها	گاززدایی	نظیر هیدروژن در آهن Al، Ti نیز می‌توانند نیترورها را خارج سازند، فلاکس‌های کلسیم و منیزیم
	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Cu)</sub>	گاززدایی	ازت، گاز کربنیک و مواد قابل تبخیر، و در بسیاری موارد اکسیژن زدایی کافی است.
	O <sub>۲</sub>	انحلالی [O] <sub>(Cu)</sub> ترکیبی Cu <sub>۲</sub> O	اکسیژن زدایی فلاکس زدایی	فسفر، کربن، لیتیم، کلسیم فلاکس‌های حاوی سیلیس، براکس و ...
	S	انحلالی [S] <sub>(Cu)</sub> ترکیبی Cu <sub>۲</sub> O	فلاکس زنی فلاکس زنی	کنترل در مواد شارژ فلاکس‌های حاوی سیلیسیم، براکس و بُر
منیزیم	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Mg)</sub>	گاززدایی	مانند آلومینیوم ازت بیشتر و کلر کمتر استفاده می‌شود.
	O <sub>۲</sub>	ترکیبی <MgO> ترکیبی (Mg <sub>۲</sub> N <sub>۲</sub> )	آخال زدایی آخال زدایی	مواد کلروره، کلور منیزیم، اسیدبوریک فلوربات آمونیم، ترکیبات حاوی گوگرد نظیر فوق

از این جدول در می‌یابیم که ازت، برای آلومینیوم و بعضی آلیاژهای آن گاز بی‌اثر بوده و برای گاززدایی از مذاب آلومینیوم استفاده می‌شود.

در مورد مس و آلیاژهای آن، ازت و گاز کربنیک، گازهای بی‌اثر محسوب شده که برای گاززدایی مذاب مس استفاده می‌شود.

برای گاززدایی مذاب فولاد از گاز کربنیک و اکسید کربن که گازهای بی‌اثر نسبت به فولاد هستند، استفاده

می‌شود.

عوامل مختلفی برای افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گازهای بی اثر مؤثر می باشد که عبارت اند از:

### ۱- اندازه حباب های گاز تزریق شده: هرچه حباب های گاز تزریق شده، کوچک تر باشند، در نقاط بیشتری

از مذاب پراکنده می شوند و می توانند گاز محلول بیشتری در مذاب را جذب کنند همچنین سرعت آن ها، در مذاب کمتر خواهد شد و زمان بیشتری را در تماس با اتم های محلول در مذاب خواهند بود تا به سطح مذاب برسند. بنابراین گاز محلول بیشتری در مذاب را در خود جذب کرده و با خود از مذاب خارج می کنند. اما اگر حباب های گاز، درشت باشند با سرعت بیشتری به طرف سطح مذاب حرکت می کنند؛ در نتیجه، زمان تماس آن ها با گازهای محلول در مذاب کمتر خواهد شد و مقدار گاز محلول کمتری در مذاب را به خود جذب کرده و از مذاب خارج می کنند.

### ۲- پخش یکنواخت: هرچه حباب های گاز تزریق شده به طور یکنواخت تری در تمام مذاب پخش شوند،

امکان تماس آن ها با اتم های گازی محلول در مذاب بیشتر خواهد بود. در نتیجه گازهای محلول بیشتری در مذاب را به خود جذب می کنند و سرعت راندمان گاززدایی را افزایش می دهند.

### ۳- عمق مذاب: هرچه عمق ظرف حاوی مذاب (بوته یا پاتیل) بیشتر باشد، مدت زمان تماس حباب های

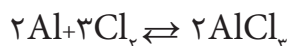
گاز با مذاب بیشتر خواهد بود. بنابراین می توانند گازهای محلول بیشتری در مذاب را در خود جذب نمایند و سبب افزایش بازدهی گاززدایی مذاب شوند.

### ۴- عدم وجود رطوبت در گاز تزریقی: اگر گاز بی اثر تزریق شده، حاوی رطوبت باشد، خود موجب

افزایش گاز حل شده در مذاب می شود که راندمان گاززدایی را کاهش خواهد داد. بنابراین، باید گاز مورد استفاده برای گاززدایی مذاب حاوی از هرگونه رطوبت باشد.

### ب) استفاده از گازهای فعال

در برخی موارد، می توان به جای گازهای بی اثر در گاززدایی مذاب از گازهای فعال نسبت به مذاب، که با مذاب وارد واکنش شیمیایی می شوند، استفاده نمود. هنگامی که این گازها، وارد مذاب می شوند با مذاب ترکیب شده و یک گاز جدید را در مذاب تولید می کنند. گاز تولید شده، نسبت به مذاب بی اثر یا خنثی است و مانند گازهای بی اثر، گاززدایی مذاب را انجام می دهد. به عنوان مثال، گاز کلر نسبت به مذاب آلومینیوم فعال می باشد اگر به گاز کلر مذاب آلومینیوم تزریق شود، با مذاب آلومینیوم وارد واکنش شده کلرید آلومینیوم را تشکیل می دهد.



کلرید آلومینیوم در دمای محیط به صورت جامد است، ولی در دمای ذوب آلومینیوم به حالت گاز در می آید

که نسبت به مذاب آلومینیوم بی اثر است و در حین حرکت خود در داخل مذاب آلومینیوم، گازهای محلول در آن را، مانند هیدروژن، در خود جذب نموده و از مذاب خارج می نماید.

البته در بسیاری از موارد، می‌توان به‌جای استفاده مستقیم از گاز فعال از ترکیبات آن‌ها استفاده نمود. معمولاً این ترکیبات، به‌صورت جامد یا مایع بوده و در اثر تماس با مذاب، تجزیه می‌شوند. گازهای مورد نیاز برای گاززدایی مذاب را فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان به‌جای استفاده مستقیم از گاز کلر در مذاب آلومینیوم، از ترکیبات کلر مانند هگزا کلرور اتان، تتراکلرور کربن و نمک‌های کلر استفاده نمود. این ترکیبات، در مذاب آلومینیوم تجزیه می‌شوند، کلر آن‌ها با آلومینیوم ترکیب می‌شود و گاز کلرید آلومینیوم را تولید می‌کند که از آن می‌توان برای گاززدایی مذاب آلومینیوم استفاده 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
- ۲- پیش آزمون
- ۳- یادآوری از مطالب جلسات قبل

### موضوع:

- آخال و آخال زدایی
- انواع آخال ها
- اکسیداسیون و اکسیدها
- منابع ایجاد آخال ها و پیشگیری از آنها
- آخال زدایی

- بهتر است ابتدا، جهت آماده کردن ذهن هنرجویان سؤالاتی در رابطه با درس، مانند زیر، مطرح شود.
- ۱- آیا مذاب فلزات همواره تمیز بوده و فاقد مواد و ناخالصی های دیگر می باشد؟
  - ۲- به نظر شما، چه نوع ناخالصی هایی ممکن است وارد مذاب فلز شوند؟
  - ۳- به نظر شما ورود ناخالصی ها در فلز مذاب بر روی خواص مکانیکی قطعه ریختگی چه تأثیر می گذارد؟
  - ۴- چه روش هایی برای جدا کردن ناخالصی های جامد از مذاب پیشنهاد می کنید.

### ۲-۲- آخال و آخال زدایی

به کلیه ناخالصی ها شامل ترکیبات فلزی و غیرفلزی، که در فلز مذاب به وجود می آیند، آخال گفته می شود. آخال ها، می توانند در اثر واکنش فلز مذاب با محیط اطراف خود به وجود آیند؛ مانند سولفیدها، اکسیدها، نیتريد ها، کلرورها و غیره. از طرف دیگر، ممکن است آخال ها در اثر عوامل خارجی به وجود آیند و وارد مذاب شوند. آخال ها، موجب کاهش خواص مکانیکی، متالورژیکی، فیزیکی و ریخته گری فلزات می شوند. وقتی در قسمت هایی از فلز، آخال به وجود می آید، پیوستگی ماده فلزی از بین می رود و موجب ضعف فلز در آن محل می شود. به طوری که، اگر فلز تحت تأثیر بارهای مکانیکی قرار گیرد، معمولاً ترک از همان محل های وجود آخال شروع شده و منجر به شکست فلز می شود.

۱-۲-۲- انواع آخال‌ها: معمولاً دو گروه آخال در مذاب وجود دارد:

**الف) آخال‌هایی که منشأ آن‌ها به غیر از خود فلز مذاب می‌باشد؛** به عبارت دیگر، در اثر عوامل خارجی به وجود آمده و وارد مذاب می‌شود. سرباره‌ها، ذرات مواد قالب، مواد نسوز از جمله آخال‌های خارجی می‌باشند. مثلاً سرباره همراه مذاب وارد قالب می‌شود و پس از انجماد به صورت ناخالصی درون قطعه می‌ماند. همچنین، مواد قالب در اثر عبور مذاب و سایش، به صورت ذرات ریز می‌آید و وارد محفظه قالب می‌شود که پس از انجماد به صورت آخال در قطعه ریختگی باقی می‌ماند.

این نوع آخال‌ها، ماکروسکوپی هستند و با چشم غیرمسلح قابل رویت می‌باشند. در صورتی که قطعه دچار شکست شود، معمولاً در سطح مقطع شکست قطعه این نوع آخال‌ها دیده می‌شوند که در بیشتر اوقات منشأ ایجاد ترک بوده و سبب شکست قطعه می‌شود. این نوع آخال‌ها را نیز می‌توان در سطح قطعات نیز مشاهده کرد که نمونه آن در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۷- نمونه از قطعه با عیوب آخال و مک‌های میکروسکوپی

**ب) آخال‌هایی که منشأ ایجاد آن‌ها، خود فلز مذاب می‌باشند؛** به این صورت که فلز مذاب با محیط اطراف یا مواد دیگر واکنش داده و در اثر این واکنش، ترکیباتی در مذاب ایجاد نماید. این ترکیبات، به عنوان ناخالصی یا آخال در قطعه شناخته می‌شوند. اکسیدها، که در اثر ترکیب فلز مذاب با اکسیژن به وجود می‌آیند، سولفیدها، نیتريد‌ها، کلرورها نمونه‌هایی از این نوع آخال هستند.

این نوع آخال‌ها بسیار کوچک هستند، به طوری که با چشم غیر مسلح نمی‌توان آن‌ها را دید؛ بلکه باید سطح مقطع نمونه را آماده‌سازی نمود و سپس با میکروسکوپ مشاهده نمود. سولفید منگنز در فولاد، مثالی از این نوع آخال است. معمولاً برای کاهش اثرات گوگرد در مذاب فولاد، منگنز به مذاب اضافه می‌کنند. منگنز با گوگرد



واکنش می‌دهد و تبدیل به سولفید منگنز می‌شود. به این ترتیب با کاهش مقدار گوگرد مذاب فولاد اثرات مضرّ گوگرد در فولاد کم می‌شود. در هنگام مطالعهٔ ساختمان میکروسکوپی فولاد به وسیله میکروسکوپ سولفید منگنز، به صورت ذرات ریز خاکستری رنگ در ساختار فولاد دیده می‌شود.

شکل ۸-۲ آخال‌ها سولفیدی را در ساختار فولاد نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که معمولاً این نوع آخال‌ها، به‌طور یکنواخت در کل ساختار قطعه پراکنده می‌شوند.



شکل ۸-۲- آخال‌های سولفیدی در فولاد ۰.۲۵٪ کربن اچ شده در محلول نیتال ۲۰٪ بزرگنمایی ۵۰۰

### ۲-۲-۲- اکسیداسیون و اکسیدها

معمولاً فلزات در طبیعت، به‌صورت سنگ‌های اکسید فلز موجود می‌باشند و پس از طی مراحل استخراج به فلز تبدیل می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فلزات در برابر گازهای اکسیدکننده، به‌خصوص اکسیژن، مقاوم نیستند و همواره لایه‌ای از اکسید فلز روی سطح فلز و یا در مذاب فلز وجود دارد پس می‌توان اکسید فلز را به عنوان مهم‌ترین آخال در فلزات نام برد.

واکنش‌پذیری فلزات مختلف با اکسیژن متفاوت است. مثلاً فلزی مانند منیزیم به سرعت با اکسیژن ترکیب می‌شود و فلزی مانند طلا واکنش‌پذیری کمی با اکسیژن هوا دارد. همچنین، نحوه تشکیل لایه اکسید روی سطح فلز در سرعت اکسیدشدن بسیار مؤثر است. به عنوان مثال، فلز آلومینیوم میل ترکیبی شدیدتری در مقایسه با آهن با اکسیژن دارد، اما هنگامی که لایه اکسید روی سطح تشکیل شد، به دلیل یکنواختی و غیرمتخلخل بودن آن از نفوذ اکسیژن به قسمت‌های داخلی فلز آلومینیوم جلوگیری می‌کند؛ در نتیجه، سرعت اکسیدشدن به شدت کاهش یافته و اکسیداسیون متوقف می‌شود. اما لایه اکسیدی تشکیل شده روی سطح فلز آهن، که میل ترکیبی کمتری با اکسیژن دارد، غیریکنواخت و متخلخل است؛ به‌طوری که اکسیژن به راحتی می‌تواند از لایه اکسیدی عبور کرده، به قسمت‌های داخلی فلز نفوذ کند و با آهن ترکیب شود. بنابراین، اکسیداسیون ادامه می‌یابد و متوقف نمی‌شود.

معمولاً اکسیدهایی که در اثر ترکیب فلز با اکسیژن به وجود می آیند، ساده و یا ترکیبی از چند اکسید می باشند که بستگی به میزان خلوصی فلز و درصد عناصر آلیاژی موجود در آن دارد. همچنین اکسیدها به علت داشتن نقطه ذوب بالا، به صورت ذرات جامد و غیرمحلول در مذاب می باشند. بنابراین احتمال محلول شدن اکسید فلز یا اکسیژن در مذاب بسیار کم است و معمولاً اکسید فلز به صورت ذرات ریز جامد در فلز مذاب شناور می باشد که اگر از مذاب خارج نشود، به صورت آخال در قطعه ریختگی باقی می ماند.

### ۳-۲-۲- منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

**۱- مواد شارژ (بار):** این مواد، اولین و مهم ترین منابع ایجاد آخال در مذاب می باشند؛ چون همراه این مواد، رطوبت، اکسیدها و ناخالصی های دیگر وارد مذاب می شود، موجب ایجاد آخال می شود. به این دلیل بهتر است مواد شارژ، قبل از ذوب کاملاً خشک باشد و اکسیدها و دیگر ناخالصی ها از آن ها جدا شده باشد تا از به وجود آمدن آخال در مذاب جلوگیری شود.

**۲- اندازه مواد شارژ (بار):** مواد بار ریز، مانند براده ها و سوفاره ها، به علت داشتن سطح زیاد به راحتی با اکسیژن هوا ترکیب می شوند و مقدار زیادی اکسید در مذاب ایجاد می کنند که در نهایت، سبب افزایش آخال در مذاب می شود. به این ترتیب بهتر است از مواد شارژ ریز در تهیه مذاب کمتر استفاده شود و در صورت استفاده، در مراحل آخر ذوب فلز اضافه شوند تا زمان تماس آن ها با اکسیژن کمتر شود.

**۳- ترتیب باردهی:** مواد شارژی که میزان اکسیداسیون زیاد دارند نباید در ابتدای عملیات ذوب شارژ شوند؛ زیرا سبب افزایش آخال در مذاب می شوند. بهتر است ابتدا مواد شارژ عاری از اکسید استفاده شود و از مواد با اکسیداسیون بالاتر، مانند براده ها، در مراحل نهایی ذوب استفاده شود.

**۴- هم زدن و آشفته ساختن مذاب:** معمولاً برای دستیابی به آلیاژ همگن، مذاب تحت عملیات هم زدن قرار می گیرد. اما در بعضی فلزات که دارای لایه اکسیدی یکنواخت روی سطح مذاب می باشند، هم زدن مذاب سبب بهم خوردن لایه اکسید شده و موجب افزایش مقدار آخال در مذاب می شود. به عنوان نمونه، می توان فلز آلومینیوم را نام برد. آلومینیوم دارای لایه اکسیدی یکنواخت روی سطح مذاب می باشد که در صورت هم زدن مذاب این لایه بهم خورده و وارد مذاب می شود.

**۵- محیط اطراف کوره:** محیط اطراف کوره می تواند اکسیدی، خنثی و احیایی باشد که هر کدام می تواند سبب ایجاد واکنش های شیمیایی در مذاب گشته و مقدار آخال را افزایش دهد. به طور مثال در صورتی که محیط کوره اکسیدی باشد، مذاب به شدت با اکسیژن ترکیب شده و اکسیدهای ایجاد شده به صورت آخال وارد مذاب می شوند. میزان اکسیدهای تشکیل شده، به ترتیب، در محیط های خنثی و احیایی کمتر می باشد. به همین دلیل، بهتر است محیط اطراف کوره احیایی باشد تا آخال کمتری در مذاب به وجود آید.

**۶- دمای ذوب:** هر چه دمای فوق ذوب افزایش یابد، احتمال ترکیب فلز مذاب با اکسیژن هوا بیشتر می شود و مقدار آخال بیشتری وارد مذاب می شود. بنابراین بهتر است دمای فوق ذوب در یک حد معینی افزایش داده شود تا از افزایش آخال ها در مذاب جلوگیری شود.

**۷- زمان نگهداری مذاب:** هرچه مدت زمان نگهداری مذاب در دمای فوق ذوب افزایش یابد، احتمال ترکیب شدن فلز مذاب با اکسیژن افزایش می یابد و مقدار آخال ها در مذاب زیاد می شود، بنابراین بهتر است زمان نگهداری مذاب در دمای فوق ذوب را کاهش داد تا از ایجاد آخال در مذاب جلوگیری شود.

**۸- نوع کوره:** در کوره هایی که مذاب فلز به طور مستقیم در تماس با سوخت کوره یا محصولات احتراق، مانند گازهای  $CO$ ،  $CO_2$ ،  $SO_2$  و غیره، می باشد مقدار آخال بیشتری در مذاب ایجاد خواهد شد به عنوان مثال، مذاب در کوره دوار به طور مستقیم در تماس با شعله و محصولات احتراق می باشد؛ در نتیجه مقدار آخال در مذاب نسبت به کوره بوتله ای بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر مواد نسوز کوره باید از استحکام بالایی برخوردار باشند که به راحتی خراب نشده و وارد مذاب نشوند. همچنین، بوتله و آجر نسوز نیز نباید به گونه ای باشند که سبب ورود ذرات ریز نسوز در مذاب و در نتیجه افزایش آخال در مذاب شوند.

**۹- وسایل و تجهیزات در ذوب:** در صورتی که ابزار و تجهیزات مورد استفاده در تهیه مذاب تمیز نبوده و فاقد پوششی باشند، موجب افزایش مقدار آخال مذاب می شوند. به همین دلیل بهتر است قبل از تهیه مذاب، ابزار مورد استفاده تمیز شده و با مواد مناسب پوشش داد شود. به عنوان مثال، اگر برای تهیه مذاب آلومینیوم از ابزار آهنی بدون پوشش استفاده شود، در اثر تماس مستقیم مذاب آلومینیوم با ابزار، آهن توسط آلومینیوم خورده می شود و باعث ایجاد آخال های میکروسکوپی در قطعه ریختگی می شود.

**۱۰- بارریزی:** اگر نحوه ریختن مذاب به داخل قالب به گونه ای باشد که مذاب در تماس با محیط اطراف قرار گیرد، واکنش مذاب با محیط اطراف افزایش می یابد و مقدار آخال بیشتری در مذاب ایجاد می شود. در نتیجه، بهتر است در هنگام بارریزی تا حد امکان، تماس فلز مذاب با محیط اطراف محدود شود.

**۱۱- قالب:** اگر مواد قالب نامناسب و فاقد پوشش باشند، در اثر حرکت مذاب ساییده می شوند و ذرات مواد قالب وارد مذاب می شوند. از طرف دیگر، در صورت مرطوب بودن مواد قالب، اکسیژن ناشی از تجزیه بخار آب به علت دمای بالا با مذاب ترکیب شده و مقدار آخال های مذاب را افزایش می دهد. بنابراین، بهتر است مواد قالب دارای استحکام کافی و فاقد رطوبت باشد تا از ایجاد آخال در مذاب جلوگیری شود.

**۱۲- سیستم راهگاهی:** اگر سیستم راهگاهی، دارای گوشه های تیز باشد در اثر حرکت مذاب، مواد قالب دچار سایش شدید در آن محل ها می شود و مقدار زیادی آخال وارد مذاب می کنند. بنابراین باید از ایجاد گوشه های تیز در سیستم راهگاهی اجتناب شود. از طرف دیگر، سیستم راهگاهی باید به گونه ای طراحی شود که از ورود آخال ها به داخل محفظه قالب جلوگیری نماید. به این صورت که ذرات آخال موجود در مذاب در حوضچه پای راهگاه و یا

کانال‌های جریان مذاب به داخل قالب، گیرکرده و نتواند وارد محفظه قالب شود. همچنین نوع آخال و چگالی آن نسبت به مذاب نیز در طراحی سیستم راهگامی مناسب جهت جلوگیری از آخال‌ها بسیار مهم می‌باشد.

### ۱۳- دمای بارریزی: در صورتی که دمای ریختن مذاب به داخل قالب افزایش یابد، احتمال واکنش شیمیایی

مذاب با مواد قالب و مواد نسوز افزایش می‌یابد؛ به طوری که مقدار زیادی آخال در مذاب تولید می‌کند. به همین دلیل، باید از افزایش دمای بارریزی اجتناب نمود.

## ۴-۲-۲- آخال زدایی

به مجموعه عملیاتی که برای جلوگیری از ورود آخال‌ها به مذاب و حذف یا کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها در مذاب، به کار می‌رود، آخال‌زدایی گفته می‌شود.

معمولاً برای آخال‌زدایی مذاب، از فلاکس استفاده می‌شود. فلاکس‌ها، ترکیباتی هستند که برای جلوگیری اکسیدشدن مذاب، احیا اکسیدهای موجود در مذاب و جدا کردن آخال‌های موجود در مذاب، استفاده می‌شود. فلاکس‌هایی که برای آخال‌زدایی استفاده می‌شوند عبارت‌اند از:

### ۱- فلاکس‌های پوششی: وقتی این فلاکس‌ها به مذاب اضافه می‌شوند لایه‌ای روی سطح مذاب ایجاد

می‌کنند که از نفوذ اکسیژن به داخل مذاب جلوگیری می‌کند. بنابراین مقدار آخال در مذاب افزایش نمی‌یابد. معمولاً این فلاکس‌ها، به صورت جامد خشک و یا به صورت مذاب در سطح فلز مذاب قرار می‌گیرند. بعضی از فلاکس‌های پوششی، آغشتگی سرباره به مذاب را کاهش می‌دهند. بنابراین، در هنگام سرباره‌گیری از خروج مذاب فلز به همراه سرباره جلوگیری می‌شود. اگر سرباره، قابلیت آغشتگی به مذاب را داشته باشد، در هنگام سرباره‌گیری، مقدار زیادی از مذاب خارج می‌شود. به این ترتیب، با افزودن فلاکس پوششی، آغشتگی سرباره به مذاب کاهش یافته، سرباره به راحتی از مذاب خارج می‌شود و اتلاف مذاب کاهش می‌یابد. در شکل ۹-۲ تصویر سرباره مذاب قبل و بعد از فلاکس‌زنی نشان داده شده است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود قبل از فلاکس‌زنی، سرباره آغشتگی زیادی به مذاب داشته و در هنگام سرباره‌گیری، مقداری مذاب همراه سرباره خارج شده است که پس از انجماد مذاب، سرباره به صورت توده‌ای چسبنده دیده می‌شود (شکل ۹-۲ الف)

اما پس از فلاکس‌زنی، آغشتگی سرباره به مذاب کاهش یافته و موجب کاهش خروج مذاب در هنگام

سرباره‌گیری شده است و سرباره به صورت توده‌شن و ماسه خشک دیده می‌شود (شکل ۹-۲ ب).



شکل ۹-۲- عکس سرباره آلومینیوم (الف) قبل از فلاکس زنی (ب) بعد از فلاکس زنی

آزمایش‌های انجام شده بر روی عملکرد فلاکس‌های پوششی، نشان داده که استفاده از آن‌ها مقدار تلفات مذاب را تا ۵۰ درصد کاهش داده و به همین نسبت، میزان آخال‌های موجود در مذاب کمتر می‌شود، البته لازم به ذکر این نکته است که فلاکس‌های پوششی برای تمیز کردن مذاب کاربرد ندارند، بلکه به عنوان مانع، در برابر ورود اکسیژن به مذاب استفاده می‌شوند.

## ۲- فلاکس‌های تمیزکننده: وظیفه این نوع فلاکس‌ها، جدا کردن ذرات آخال معلق در مذاب و خارج

نمودن آن‌ها می‌باشد. مهم‌ترین وظایف فلاکس‌های تمیزکننده عبارتند از:

**الف) کاهش وزن مخصوص:** آخال در مذاب به سه حالت می‌توانند وجود داشته باشد:

۱- در سرباره مذاب قرار گیرد.

۲- به صورت شناور در مذاب وجود داشته باشد.

۳- به صورت لجن کف بوته (کوره) ته‌نشین شود.

حال اگر بتوان به طریقی وزن مخصوص آخال‌ها را کاهش داد، آخال‌ها به سطح مذاب خواهند آمد و

می‌توان آن‌ها را به راحتی از مذاب جدا نمود. به همین منظور، از فلاکس‌هایی که سبب کاهش وزن مخصوص

آخال می‌شوند استفاده می‌شود. در جدول ۵-۲ وزن مخصوص ترکیبات مختلف در مقایسه با فلز مذاب نشان داده



شده است.

جدول ۵-۲- وزن مخصوص چند ترکیب در مقایسه با فلز مذاب

فلزات	وزن مخصوص در حالت مایع $\text{g/cm}^3$	ترکیبات	وزن مخصوص ترکیبات $\text{g/cm}^3$
Cu	۸/۲۲	CuCl <sub>۲</sub>	۳/۰۵
		CuO	۵/۶
Al	۲/۳	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۴
		AlCl <sub>۳</sub>	۱/۵۲
		سرباره‌های اکسیدی	۱/۸
Fe	۶/۹	Feo	
		Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	
		Fe <sub>۲</sub> O <sub>۴</sub>	۵/۱
		FeCl <sub>۲</sub>	۲/۵۲
		FeCl <sub>۳</sub>	۲/۸۰
		سرباره آهنی	۳-۴/۲
Mg	۱/۵	MgO	۳/۶
		MgCl <sub>۲</sub>	۲/۳
Zn	۶/۵	ZnS	۳/۹
		ZnCl <sub>۲</sub>	۲/۷۵
		ZnO	۵/۶
		خاک نسوز و SiO <sub>۲</sub>	۲

ب) کاهش آغشتگی به مذاب: معمولاً آخال‌هایی که در مذاب شناورند، آغشتگی زیادی به مذاب دارند و نمی‌توان آن‌ها را به راحتی از مذاب خارج نمود و یا در صورت خارج نمودن آن‌ها، مقدار زیادی مذاب همراه آن‌ها خارج می‌شود و اتلافات مذاب افزایش می‌یابد، با استفاده از فلاکس‌های تمیزکننده، می‌توان آغشتگی آخال به مذاب را کاهش داد و آخال را به راحتی از مذاب خارج نمود. این فلاکس‌ها در فصل مشترک مذاب و آخال، یک لایه نازک ایجاد می‌کند و آغشتگی آخال به مذاب را کاهش می‌دهد. بنابراین خروج آخال‌ها از مذاب راحت‌تر انجام می‌گیرد. از طرف دیگر، می‌توان از برخی گازها، مانند روش گاززدایی، استفاده کرد که با تزریق آن‌ها به مذاب، لایه نازکی از گاز بین آخال و مذاب ایجاد شود که علاوه بر کاهش آغشتگی آخال به مذاب، وزن مخصوص

آخال را نیز کاهش می‌دهد، و موجب تجمع آخال‌ها در سطح مذاب می‌شود.  
**ج) افزایش نقطه گداز:** بعضی از آخال‌ها در شرایط ذوب فلز، به‌صورت مایع هستند؛ یعنی نقطه ذوب آن‌ها پایین و در حد نقطه ذوب فلز می‌باشد. لذا جدا کردن آن‌ها از فلز مذاب منجر به اتلاف مقدار زیادی مذاب می‌شود. به همین دلیل برای خارج کردن این نوع آخال‌ها، از نوعی فلاکس تمیزکننده استفاده می‌شود که نقطه ذوب آخال را افزایش می‌دهد و آخال در شرایط ذوب فلز، جامد می‌گردد که با سربراه‌گیری به راحتی از مذاب خارج می‌شود.

### 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- پیش آزمون
- ۳- یادآوری از مطالب جلسات قبل

موضوع:

- روش های ترکیبی آخال زدایی،
- عملیات فیلتر کردن مذاب،
- تلقیح (جوانه زایی و ...)

در ابتدا بهتر است برای درک عمیق تر مفاهیم درسی، آماده سازی ذهن هنرجویان سؤالاتی پرسیده شود.

۱- به نظر شما، آیا برای جلوگیری از ورود آخال به داخل قالب ریختگی، می توان مذاب را فیلتر نمود؟

چگونه؟

۲- آیا می توان با افزودن عناصری به مذاب، اندازه دانه ها را در ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی تغییر

داد؟

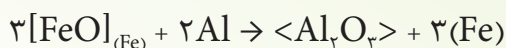
۳- به نظر شما عناصری که برای بهبود خواص قطعه ریختگی به مذاب اضافه می شود، باید چه شرایطی

داشته باشد؟

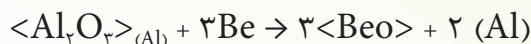
### ۵-۲-۲- روش های ترکیبی آخال زدایی

در این روش، از عناصری که نسبت به فلز میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن، نیتروژن و غیره دارند، استفاده می شود. این عناصر، ترکیباتی که شامل مذاب و اکسیژن، نیتروژن و غیره باشند را احیاء نموده، عنصر فلزی را آزاد کرده و به فلز مذاب هدایت می کند. سپس خود این عناصر اضافه شونده با اکسیژن، نیتروژن و غیره ترکیب می شوند. به عنوان مثال، اکسیژن زدایی در بعضی فلزات به این روش انجام می شود. نمونه هایی از این روش اکسیژن زدایی به صورت زیر می باشد.

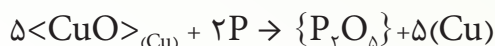
برای اکسیژن زدایی مذاب آهن از فلز آلومینیوم استفاده می شود. آلومینیوم به علت میل ترکیبی بیشتر، با اکسیژن موجود، در اکسید آهن حل شده، در مذاب آهن ترکیب شده، یون آهن را به آهن احیاء کرده و اکسید آلومینیوم تولید می نماید که به صورت سرباره در سطح مذاب جمع می شود و می توان به راحتی آن را از مذاب جدا کرد. واکنش آلومینیوم با اکسید آهن به صورت زیر می باشد.



- نمونه دیگر، اکسیژن زدایی مذاب آلومینیوم به وسیله بریلیم می باشد. در این جا، بریلیم با اکسیژن موجود در اکسید آلومینیوم موجود در آلومینیوم مذاب ترکیب شده و یون آلومینیوم را به آلومینیوم تبدیل می کند جدا کردن اکسید بریلیم از مذاب ساده تر از اکسید آلومینیوم می باشد واکنش بریلیم با اکسید آلومینیوم به صورت زیر می باشد.



- اکسیژن زدایی مذاب مس با استفاده از فسفر مثالی دیگر می باشد که در آن، فسفر با اکسید مس موجود در مس مذاب ترکیب شده و سبب احیاء یون مس می گردد. در این صورت، جدا نمودن اکسید فسفر از مذاب مس نسبت به اکسید مس راحت تر می باشد. رابطه این واکنش به صورت زیر می باشد.



هر عنصری را نمی توان به عنوان اکسیژن زدا در مذاب اضافه نمود بنابراین، برای اکسیژن زدایی مذاب توسط یک عنصر شرایط مهمی وجود دارد که عبارتند از:

۱- عنصر اضافه شده باید میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن نسبت به فلز مذاب داشته باشد تا بتواند اکسید فلز مذاب را احیاء نماید و با اکسیژن موجود در اکسید ترکیب شود. در غیر این صورت، مذاب با اکسیژن ترکیب می شود و اکسید در مذاب ایجاد می شود.

۲- عنصر اضافه شده، نباید خود باعث تغییر ترکیب شیمیایی مذاب شود و از طرف دیگر، نباید آخال در مذاب ایجاد کند.

۳- چگالی اکسید عنصر اکسیژن زدا باید کمتر از چگالی اکسید اصلی باشد. تا بتواند به راحتی به سطح مذاب بیاید.

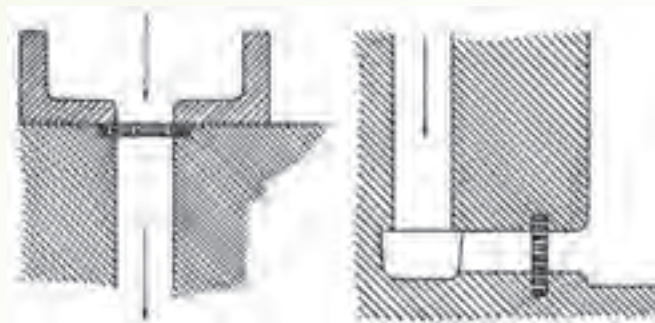
۴- اکسید تشکیل شده در اثر اضافه نمودن عنصر اکسیژن زدا، نباید قابلیت آغشتگی به مذاب داشته باشد تا بتوان آن را به راحتی از مذاب خارج کرد. در غیر این صورت، خارج نمودن اکسید سبب اتلاف زیاد فلز مذاب خواهد شد.

۵- از جهت عملی، اضافه نمودن عنصر اکسیژن زدا به داخل مذاب به راحتی صورت می گیرد و نیاز به تمهیدات خاصی نداشته باشد.

## ۶-۲-۲- عملیات فیلتر کردن مذاب: برای خارج کردن بیشتر آخال ها از مذاب، می توان از فیلتر کردن

مذاب استفاده کرد. فیلتر کردن باعث خروج آخال هایی از مذاب می شود که با روش های دیگر خارج نشده اند و دارای اندازه قابل ملاحظه ای هستند. برای این منظور، مذاب را از داخل فیلترهای مخصوص، که معمولاً از جنس

سرامیک و دیرگداز هستند و دارای منافذی با ابعاد مشخص می‌باشند، عبور داده تا آخال‌های بزرگتر نتوانند از ابعاد منافذ فیلتر عبور کنند و پشت فیلتر باقی بمانند و مذاب با درصد آخال پایین‌تر از آن عبور کند و وارد قالب قطعه ریختگی شود. عملیات فیلتر کردن می‌تواند در خود پاتیل و یا حتی در سیستم راهگامی انجام شود. لازم به ذکر این نکته است که با فیلتر کردن، نمی‌توان تمام آخال‌ها را از مذاب خارج کرد؛ زیرا آخال‌های میکروسکوپی می‌توانند از منافذ فیلتر عبور کنند. در شکل ۱۰-۲ محل‌های پیشنهادی برای قرار دادن فیلتر در سیستم راهگامی برای مذاب آلومینیوم نشان داده شده است. در شکل سمت راست فیلتر در کانال انتقال مذاب به قطعه (راهبار) قرار داده شده است و در شکل سمت چپ فیلتر در ابتدای لوله راهگام و بعد از حوضچه بالای راهگام بار ریز تعبیه شده است.



شکل ۱۰-۲- شماتیک روش‌های فیلتر کردن برای آلومینیوم در سیستم راهگامی

### ۲-۳- تلقیح (جوانه زایی)

برای بهبود خواص قطعات ریختگی، از جمله خواص مکانیکی، فیزیکی و ریخته‌گری، روش‌های مختلفی وجود دارد که بیشتر آن‌ها در حالت جامد روی قطعه ریختگی انجام می‌شود؛ مانند عملیات حرارتی و کارهای مکانیکی که سبب تغییر ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی می‌شود. اما در حالت مذاب نیز می‌توان خواص قطعه ریختگی را با اضافه نمودن مقدار جزئی از عناصر معین افزایش داد. معمولاً این عناصر را در آخرین مرحله تهیه مذاب و قبل از ریختن مذاب به داخل قالب، اضافه می‌کنند. به‌طور کلی، این عناصر سبب ریز شدن دانه‌ها در ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی می‌شود. همچنین، موجب تولید فازهایی می‌شود، که در حالت عادی در اثر انجماد مذاب تشکیل نمی‌شوند. ریز دانه شدن یا ایجاد فازهای جدید سبب افزایش خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخته‌گری قطعات ریختگی می‌شود. به عنوان مثال اضافه کردن ۰/۲ درصد تیتانیوم یا ۰/۰۲ درصد بُر به مذاب آلومینیوم، باعث می‌شود که پس از ریختن مذاب به داخل قالب و انجماد دانه‌های تشکیل شده در آلومینیوم و آلیاژهای آن از ۲/۵ میلی‌متر به ۰/۱ میلی‌متر کاهش یابد. همچنین با اضافه نمودن حدود ۰/۰۲ درصد سدیم و یا ۰/۰۳ درصد استرانسیم به مذاب آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم، اندازه دانه‌های تشکیل شده در حین انجماد به

مقدار بسیار زیادی کاهش می‌یابد. اضافه نمودن مقدار کمی سیلیسیم به مذاب چون، موجب تشکیل گرافیت آزاد در ساختار میکروسکوپی چدن می‌شود و از به‌وجود آمدن چدن سفید، که سخت و ترد می‌باشد، در قطعات نازک جلوگیری می‌نماید و خواص مکانیکی قطعه، مانند چقرمگی و مقاومت به ضربه، را افزایش می‌دهد. همچنین، با افزودن مقدار بسیار کمی منیزیم در حد ۰/۰۵ درصد) به مذاب با ترکیب شیمیایی چدن، می‌توان از به‌وجود آمدن گرافیت آزاد ورقه‌ای در ساختار میکروسکوپی جلوگیری کرد و به‌جای آن گرافیت کروی در ساختار چدن ایجاد نمود که سبب افزایش خواص مکانیکی چدن به مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌شود. با توجه به مثال‌های ذکر شده، مشخص می‌شود که عمل جوانه‌زایی در مذاب (تشکیل اولین کریستال‌های جامد در مذاب در حین انجماد) یکی از روش‌های تلقیح می‌باشد. در این روش، با اضافه نمودن موادی با ترکیبات مشخص به مذاب، که در دمای مذاب به‌طور جامد می‌باشند، می‌توان تعداد محل‌هایی را که کریستال‌های جامد از مذاب تشکیل شود را افزایش داد. در نتیجه، تعداد دانه‌های تشکیل شده در حین انجماد بیشتر می‌شود و دانه‌ها، ریزتر خواهد شد. موادی که برای جوانه‌زایی در مذاب فلز استفاده می‌شوند، دارای شرایط مشخص می‌باشند که عبارتند از:

– **دیرگدازی:** نقطه ذوب مواد جوانه‌زا باید از دمای مذاب بیشتر باشد در غیر این صورت، قبل از انجام

وظیفه جوانه‌زایی در مذاب، از حالت جامد خارج شده و به حالت مذاب در می‌آید.

– **قابلیت آغشتگی به مذاب:** مواد جوانه‌زا باید بتوانند در تمام قسمت‌های مذاب پراکنده شوند تا به

عنوان هسته جوانه‌زایی عمل نمایند. به‌همین منظور، باید قابلیت آغشتگی به مذاب خوبی داشته باشند. در غیراین صورت، بسته به میزان چگالی آن‌ها نسبت به مذاب یا در سطح مذاب (چگالی کمتر) و یا در کف مذاب (چگالی بیشتر) جمع می‌شوند و نمی‌توانند وظیفه جوانه‌زایی خود را در تمام قسمت‌های مذاب انجام دهند.

**ساختار کریستالی:** ساختار کریستالی مواد جوانه‌زا باید نزدیک به ساختار کریستالی فلز مذاب باشد تا

در حین انجماد، اتم‌های مذاب به سمت آن‌ها حرکت کنند و در محل‌های مشخص شده کریستالی، روی مواد جوانه‌زا قرار گیرند و سبب رشد کریستال جامد شوند. اما اگر ساختار کریستالی مواد جوانه‌زا متفاوت با فلز مذاب باشد، مواد جوانه‌زا نمی‌توانند به عنوان محل‌هایی برای تشکیل کریستال جامد در مذاب (هسته) عمل کنند و خود سبب به‌وجود آمدن عیوبی در ساختار کریستالی فلز جامد می‌شوند. برای این منظور، برای هر آلیاژ مواد جوانه‌زای مشخصی وجود دارد که تعدادی از آن‌ها در جدول ۶-۲ ارائه شده است.



جدول ۵-۲- مشخصات اصلی مواد جوانه‌زا

سیستم آلیاژی درصد عنصر دوم	فاز اصلی که کنترل می‌شود	ریزکننده‌ها درصد وزنی	تأثیر در ساختمان	ترکیب احتمالی حاصل برای ریزکردن
Mg ۷-۱۰ Al	Mg <sub>α</sub>	C <sub>۲</sub> Cl <sub>۶</sub> ۰/۰۵ FeCl <sub>۲</sub> ۱-۲ فوق ذوب تا ۸۴۰ °C	تقلیل اندازه شبکه به ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلی‌متر	ترکیب حاصل Al <sub>۴</sub> C <sub>۳</sub> یا تشکیل (Fe-Mg)Al <sub>۴</sub>
Mg ۴-۵ Zn	Mg <sub>α</sub>	Zr ۰/۰۷	مانند فوق	هسته‌های Zr و یا MgZr
۴Cu Al(Mg) Zn	Al <sub>α</sub>	Ti ۰/۰۵ - ۰/۱ B ۰/۰۰۵ - ۰/۰۰۱	تقلیل تا ۰/۱ میلی‌متر	TiC - AIB - TiB <sub>۲</sub> و خاصیت محدود کردن رشد توسط B.Ti
Al ۵ - ۱۲ - Si Al ۱۶ - ۲۰ Si	اوتکتیکی Si فاز اولیه Si	Na ۰/۰۱ P ۰/۰۰۵	تقلیل دانه‌های سیلیسیم به ۰/۰۰۱ mm تقلیل دانه‌های سیلیسیم به ۰/۰۰۱ mm	Na هسته AIP
Cu ۳۵-۴۵ Zn	αCu کریستال β	Fe ۱-۲ ZrB ۰/۰۵	تقلیل به ۰/۱ - ۰/۲ میلی‌متر	فعل و انفعال پریکتیکی با Fe و وجود هسته ZrB <sub>۲</sub>
Fe <sub>۳</sub> -۴C برای چدن خاکستر	Fe <sub>۳</sub> C اوتکتیک یا C	FeSi ۰/۵ CoSi ۰/۲ SiMnZr ۰/۲ SiC ۰/۲	تعویض سمانتیت به گرافیت لایه‌ای	قابلیت‌های گرافیت‌زایی
Fe ۴ - ۴/۵ C	چدن لایه‌ای	Mg ۰/۰۴ - ۰/۰۶ Ce ۰/۰۰۵ - ۰/۱ همراه با فروسیلیسیم ۷۵٪	تغییر لایه گرافیت به گرافیت کروی	کاملاً مشخص نیست احتمال ترکیب MgO و آزاد شدن C از CO
Fe ۳ - ۳/۷ C چدن چکش‌خوار	در انجماد Fe <sub>۳</sub> C	B ۰/۰۰۲ AL ۰/۰۰۴ B ۰/۰۰۲ Te ۰/۰۰۲	توسعه گرافیت شدن جلوگیری از تشکیل	مشخص نیست مشخص نیست

## نکاتی چند در مورد عملیات جوانه‌زایی

**۱- زمان جوانه‌زایی:** زمان افزودن مواد جوانه‌زا در مذاب، اهمیت بسیار زیادی دارد، به‌صورتی که اگر زمان برای اضافه نمودن جوانه‌زا، مناسب در نظر گرفته نشود، عمل جوانه‌زایی به‌صورت کامل انجام نخواهد شد. به‌عنوان مثال، اگر مواد جوانه‌زا قبل از عملیات گاززدایی و آخال‌زدایی به مذاب اضافه شوند، بسیاری از جوانه‌زها در حین گاززدایی و آخال‌زدایی از مذاب خارج می‌شوند و عمل جوانه‌زایی به‌طور کامل در مذاب انجام نخواهد شد. به همین منظور، بهترین زمان برای اضافه نمودن مواد جوانه‌زا، در آخرین مرحله تهیه مذاب و قبل از ریختن مذاب به داخل قالب است. حتی در برخی موارد، مواد جوانه‌زا در سیستم راهگامی به مذاب اضافه می‌شوند؛ چون در صورت طولانی شدن زمان حضور جوانه‌زا در مذاب، امکان از بین رفتن جوانه‌زها وجود دارد.

**۲- دما و زمان (میرایی):** در صورتی که دمای مذاب بالا باشد، امکان ذوب شدن و حل شدن مواد جوانه‌زا در مذاب زیاد می‌شود. به همین ترتیب اگر زمان نگهداری مذاب پس از اضافه نمودن مواد جوانه‌زا طولانی شود، امکان ذوب شدن و حل شدن مواد جوانه‌زا در مذاب افزایش می‌یابد که موجب کاهش زیاد راندمان یا بازدهی جوانه‌زایی می‌شود. بنابراین، دما و زمان در اضافه نمودن مواد جوانه‌زا به مذاب و عملکرد آن‌ها، بسیار مهم هستند.

**۳- اندازه جوانه‌زها:** اندازه جوانه‌زها باید مناسب باشند تا ساختار میکروسکوپی قطعه‌ریختگی ریزدانه شود و خواصی آن بهبود یابد. اگر اندازه ذرات جوانه‌زا، خیلی بزرگ باشد، سبب به‌وجود آمدن دانه‌های درشت در قطعه‌ریختگی شده و خواص قطعه را کاهش می‌دهد؛ برعکس، اگر جوانه‌زها خیلی ریز باشند، پس از اضافه شدن به مذاب، در مدت زمان کوتاهی حل شده و سبب می‌شود که ساختار دانه‌بندی موردنظر ایجاد نشود، چون تعداد زیادی از جوانه‌زها کارایی خود را از دست داده‌اند. لازم به ذکر این نکته است که اندازه مناسب جوانه‌زا برای آلیاژهای مختلف از روی تجربه انجام آزمایش‌های عملی به‌دست می‌آید.

**۴- پخش یکنواخت:** اگر مواد جوانه‌زا، به‌طور یکنواخت در تمام قسمت‌های مذاب پخش شوند ساختار میکروسکوپی دانه‌های ریز با ابعاد تقریبی یکسان حاصل، خواهد شد که خواص مکانیکی و فیزیکی در تمام جهات آن تقریباً یکسان خواهد بود. اما، اگر مواد جوانه‌زا به‌طور یکنواخت در مذاب پخش نشوند در محل‌هایی که تعداد جوانه‌زها بیشتر است، دانه‌ها ریزتر و در سایر قسمت‌های قطعه دانه‌ها درشت‌تر خواهد شد. عدم یکنواختی در اندازه دانه، کاهش خواص قطعه (مکانیکی و فیزیکی) را در پی دارد.

**۵- مقدار جوانه‌زا:** اگر مقدار جوانه‌زا کمتر از حد معین باشد ساختار دانه‌بندی ریزدانه به‌وجود نخواهد آمد؛ چون تعداد جوانه‌زها کم بوده و محل‌های تشکیل کریستال دانه در مذاب کم خواهد بود. بنابراین، اندازه دانه‌ها، به حد لازم، ریز نخواهد شد. در صورتی که تعداد جوانه‌زها بسیار زیاد باشد، به دلیل حذف اثرات یکدیگر در حین انجماد، دانه‌ها در حد لازم ریز نخواهد شد. این موضوع، عدم یکنواختی اندازه دانه‌ها در قطعه و درشت

شدن دانه‌ها را در پی دارد که موجب کاهش خواص مکانیکی و فیزیکی قطعه خواهد شد.

### ۱-۳-۲- مزایا و عیوب جوانه‌زایی

#### الف) مزیت‌ها

۱- **خواص مکانیکی:** استفاده از جوانه‌زا سبب به وجود آمدن ساختار میکروسکوپی دانه‌ریز در قطعه ریختگی

می‌شود. ریز شدن دانه‌ها سبب افزایش مرزدانه‌ها در ساختار میکروسکوپی می‌شود از آن‌جا که خواص مکانیکی قطعه متأثر از ابعاد دانه‌ها و تعداد مرزدانه‌ها است، هرچه دانه‌ها ریزتر و تعداد مرزدانه‌ها بیشتر باشد، خواص مکانیکی از قبیل سختی، استحکام و مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد.

۲- **مک‌های گازی و انقباضی:** استفاده از مواد جوانه‌زا و ریزدانه شدن دانه موجب می‌شود که گازهایی که

به حالت مولکولی در حین انجماد به وجود می‌آیند در قطعه محبوس شوند. همچنین مک‌های گازی و انقباضی کوچک‌تر شده و در برخی مواد، حذف می‌شوند.

۳- استفاده از جوانه‌زاها به مقدار مناسب سبب ایجاد دانه‌های ریز و با ابعاد تقریباً یکسان در ساختار قطعه

ریختگی می‌شوند که یکنواخت شدن خواص در تمام جهات قطعه را در پی دارد.

۴- استفاده از جوانه‌زاها سبب ریز شدن دانه‌ها در ساختار میکروسکوپی فلز می‌شود. ریز شدن دانه در

آلیاژهایی که احتمال ترک در حین انجماد آن‌ها وجود دارد موجب می‌شود ترک‌های تشکیل شده به ابعاد دانه محدود شود. در نتیجه طول ترک‌ها کم‌تر خواهد شد و در اغلب اوقات قابل چشم‌پوشی هستند. بنابراین استفاده از جوانه‌زا، حساسیت به ایجاد ترک‌های حین انجماد در ریخته‌گری را کاهش می‌دهد.

۵- ریز شدن دانه‌های فلز در اثر استفاده از مواد جوانه‌زا موجب جلوگیری از براده‌های با طول زیاد در حین

ماشین‌کاری می‌شود و براده‌ها کوچک می‌شوند. کوچک شدن براده‌ها، نشان‌دهنده افزایش خاصیت ماشین‌کاری فلز می‌باشد. زیرا فشار کمتری به دستگاه ماشین‌کاری وارد شده و از طرف دیگر سطح ایجاد شده در فلز بسیار پرداخت شده و صیقلی خواهد بود.

۶- ریزدانه شدن فلز در اثر استفاده از مواد جوانه‌زا سبب افزایش مرزهای دانه (که خود دارای انرژی نهفته

می‌باشند) می‌شود. بنابراین قابلیت پولیش‌کاری و آبکاری قطعه افزایش می‌یابد. چون مرز دانه‌ها، محل‌های مناسبی برای قرار گرفتن اتم‌های فلز دیگر برای آبکاری می‌باشد.

۷- با توجه به اینکه استفاده از مواد جوانه‌زا سبب افزایش مرزدانه در ساختار قطعه ریختگی می‌شود

مرزدانه، خود به علت ناقص بودن ساختار کریستالی دارای انرژی می‌باشد، بنابراین، فلز دارای مقداری انرژی در حالت عادی می‌شود. پس عملیات حرارتی با اعمال انرژی حرارتی کمتر نسبت به ساختار میکروسکوپی با دانه‌بندی درشت، میسر می‌شود.

## ب) عیب‌ها

- ۱- اضافه نمودن مواد جوانه‌زا در مذاب که معمولاً به صورت جامد می‌باشد، سبب افزایش گران روی (ویسکوزیته) مذاب می‌شود؛ در نتیجه، سیالیت مذاب کاهش می‌یابد.
- ۲- ممکن است در هنگام اضافه نمودن جوانه‌زا، مقداری ترکیبات ناخواسته یا رطوبت وارد مذاب شود که موجب افزایش ناخالصی‌ها در مذاب و در قطعه می‌شود.

### در پایان جلسه:

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

## ارزشیابی (۲)

- ۱- واکنش گاز با مذاب را دسته‌بندی نموده، برای هر یک مثالی بیاورید.
- ۲- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی را نام ببرید.
- ۳- گاززدایی در خلاء جزو کدام دسته از روش‌های گاززدایی است، محدودیت‌های استفاده از این روش را بنویسید.
- ۴- مهم‌ترین وظایف فلاکس‌های تمیزکننده را به اختصار توضیح دهید.
- ۵- چه عواملی در افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گاز مؤثرند؟ به اختصار توضیح دهید.
- ۶- الف) آخال را توضیح دهید.  
ب) انواع آخال‌ها را بنویسید.
- ۷- انحلال گازها در مذاب چگونه انجام می‌شود؟ و عوامل مؤثر بر انحلال گاز در مذاب را نام ببرید.
- ۸- تلقیح (جوانه‌زایی) چیست؟ و شرایط جوانه‌زها را نام ببرید.
- ۹- گازها برای انحلال در مذاب باید از حالت ..... خارج شوند و به حالت ..... تبدیل شوند.
- ۱۰- گاززدایی با استفاده از گازهای بی‌اثر را توضیح دهید.
- ۱۱- به چه منظور از فلاکس‌های تمیزکننده استفاده می‌شود؟ مهم‌ترین وظایف آن‌ها را بنویسید.
- ۱۲- جهت گاززدایی مذاب آلومینیوم با روش استفاده از گازهای فعال، می‌توان گاز ..... را به داخل مذاب تزریق کرد.
- ۱۳- طبق رابطه استوک آخال‌های ریز نسبت به آخال‌های درشت با سرعت ..... به سطح مذاب آمده و به سرباره می‌پیوند.
- ۱۴- هنگام گاززدایی با گازهای بی‌اثر، عمق حمام مذاب چه اثری در راندمان گاززدایی دارد؟ چگونه؟
- ۱۵- هم‌زدن و آشفته ساختن مذاب آلومینیوم چه تأثیری در ایجاد آخال دارد؟ توضیح دهید.



### انجماد فلزات

#### هدف

- ۱- آشنایی با ساختمان فلزات
- ۲- آشنایی با رفتار فلزات خالص و آلیاژها در هنگام انجماد.
- ۳- آشنایی چگونگی انجماد در قطعات ریختگی و عیوب ایجاد شده در حین انجماد.

#### مفاهیم کلی

- ۱- ساختمان کریستالی فلزات
- ۲- رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد
- ۳- رفتار آلیاژها در هنگام انجماد
- ۴- آلیاژهای محلول جامد
- ۵- آلیاژهای یوتکتیک
- ۶- نمودارهای فازی
- ۷- انقباض حجمی در قطعات ریختگی
- ۸- نحوه انجماد فلزات خالص در قالب
- ۹- نحوه انجماد فلز در گوشه‌های قالب
- ۱۰- نحوه انجماد آلیاژها در قالب

#### مفاهیم اساسی

- ۱- اتم‌ها در فلز جامد نسبت به یکدیگر در موقعیت مشخص و معینی قرار گرفته‌اند که به آن شبکه کریستالی گفته می‌شود.
- ۲- انتقال و حرکت اتم‌ها از یک فلز به فلز دیگر را دیفیوژیون (نفوذ) می‌گویند.
- ۳- شبکه کریستالی فلزات جامد بر سه نوع است که عبارتند از: سیستم مکعبی اتم در مرکز (B.C.C)، سیستم مکعبی با اتم در مرکز سطوح (F.C.C) و سیستم بلوری شش‌وجهی متراکم (h.c.p)
- ۴- فلزات خالص مذاب در یک دمای معین منجمد می‌شوند.

- ۵- هنگام سرد کردن فلز مذاب خالص، کریستال‌های جامد اولیه‌ای که در مذاب تشکیل می‌شوند می‌توانند به آسانی در تمام جهات رشد کنند که به آن رشد دندریتی می‌گویند.
- ۶- آلیاژهای مذاب، که عنصر آلیاژی در آن به‌طور کامل محلول است، در دمای معینی منجمد نمی‌شود؛ بلکه در یک فاصله حرارتی به‌نام دامنه انجماد، منجمد می‌شود.
- ۷- عناصر آلیاژی سبب اصلاح و بهبود استحکام فلز در دماهای بالا، قابلیت ماشین‌کاری، مقاومت در برابر خوردگی، حتی اصلاح مشخصات ریختگی آلیاژ مانند سیالیت و نقطه ذوب و همچنین افزایش استحکام آن می‌شود.
- ۸- دمای لیکوئیدوس، دمایی است که در بالای آن، آلیاژ به‌صورت مایع وجود دارد.
- ۹- دمای سالییدوس، دمایی است که در پایین آن، آلیاژ به‌صورت جامد باقی می‌ماند.
- ۱۰- سرعت سرد شدن مذاب، در حین انجماد آلیاژ به علت تشکیل جوانه‌های جامد در مذاب و آزاد شدن گرمای نهان انجماد کاهش می‌یابد.
- ۱۱- اگر سرعت سرد کردن مذاب در فلزات خالص به‌صورت تعادلی باشد، مذاب در دمایی نزدیک به نقطه انجماد فلز، منجمد می‌شود.
- ۱۲- در عمل، با توجه به بالا بودن سرعت سرد کردن مذاب فلز در دمایی پایین‌تر از نقطه انجماد، منجمد می‌شود که این فاصله حرارتی، مادون انجماد نامیده می‌شود.
- ۱۳- فلزات خالص در مقایسه با آلیاژها از قابلیت هدایت الکتریکی حرارتی و الکتریکی، نقطه ذوب بالا، قابلیت انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردارند؛ اما تنش تسلیم و تنش نهایی آن‌ها کمتر است و در بعضی حالات، مقاومت در برابر خوردگی بهتری را از خود نشان می‌دهند.
- ۱۴- در آلیاژهای محلول جامد، دو فلز کاملاً در حالت مایع و در حالت جامد در یکدیگر محلول می‌باشند؛ مانند آلیاژ طلا و نقره یا مس و نیکل
- ۱۵- در ارتباط با ترکیب هر آلیاژ، خط سالییدوس نشان‌دهنده شروع ذوب آلیاژ و خط لیکوئیدوس نشان‌دهنده خاتمه ذوب می‌باشد.
- ۱۶- نمودارهای تعادلی فلزات، اطلاعات با ارزشی را در زمینه ساختمان قطعه و در نتیجه مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن، شروع و خاتمه انجماد، رفتار انجماد و دمای ریختن مذاب در اختیار ما قرار می‌دهد.
- ۱۷- آلیاژهای یوتکتیک، آلیاژهایی هستند که در حالت مایع کاملاً محلول می‌باشند، اما در حالت جامد، با هر نسبتی در یکدیگر محلول نیستند، بلکه به‌صورت مخروط مکانیکی عمل می‌نماید. مانند آلیاژ آلومینیوم و مس.

- ۱۸- عدم یکنواختی توزیع عناصر آلیاژی در ساختمان فلزی جدایش نامیده می‌شود که پس از انجماد می‌توان با عملیات حرارتی این عدم یکنواختی را از بین برد.
- ۱۹- بعضی از فلزات در نسبت معینی با فلز دیگر، یک ترکیب شیمیایی تولید می‌نماید که به آن ترکیبات، بین فلزی می‌گویند. ویژگی این ترکیبات، سخت و شکننده بودن آنهاست.
- ۲۰- انقباض حجمی فلزات در هنگام انجماد فلز مذاب، سبب ایجاد حفره‌های انقباضی در قطعات ریختگی می‌شود.
- ۲۱- انقباض حجمی فلزات در سه مرحله متفاوت در حین انجماد اتفاق می‌افتد. انقباض در حالت مایع، انقباض حین انجماد و انقباض جامد.
- ۲۲- در چدن‌ها، به علت تشکیل کربن به صورت آزاد در حین انجماد، فلز به جای انقباض، انبساط می‌یابد.
- ۲۳- معمولاً برای جبران انقباض فلز مذاب تا زمان انجماد کامل، از یک کانال اضافی مذاب (تغذیه) استفاده می‌شود.
- ۲۴- انجماد فلز خالص در قالب به دو صورت انجماد همه جانبه و انجماد جهت‌دار یا کنترل شده انجام می‌شود.
- ۲۵- انجماد همه جانبه از جداره قالب شروع شده و تا مرکز قطعه ادامه می‌یابد.
- ۲۶- انجماد جهت‌دار از دورترین قسمت قالب نسبت به راهگاهی که مذاب وارد قالب می‌شود، شروع شده و به طرف راهگاه ادامه می‌یابد.
- ۲۷- معمولاً دو نوع حفره انقباضی منجمدشده به وجود می‌آید: حفره انقباضی بزرگ در قسمت فوقانی قطعه و حفره‌های انقباضی ریز در مرکز قطعه.
- ۲۸- سرعت زیاد انجماد موجب ریزش دانه‌ها در قطعات ریختگی و در نتیجه افزایش استحکام آنها می‌شود.
- ۲۹- سرعت کم انجماد موجب درشت شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش استحکام قطعات ریختگی در دمای بالا می‌شود.
- ۳۰- ریزش دانه‌ها سبب حذف حفره‌های انقباض در قطعات ریختگی شده و به یکنواخت شدن ساختمان قطعه ریختگی کمک می‌کند.
- ۳۱- ضخامت مذاب جامد شده ( $D$ ) با جذر زمان ( $t$ ) نسبت مستقیم دارد؛ یعنی  $D = \sqrt{t}$
- ۳۲- زمان لازم برای انجماد مذاب قالب با مجذور نسبت حجم به سطح آنها ارتباط دارد. به عبارت دیگر:

$$K \left( \frac{\text{حجم قطعه}}{\text{سطح قطعه}} \right)^2 = \text{زمان انجماد مذاب}$$

۳۳- در هنگام انجماد مذاب در قطعه ریختگی، سه منطقه وجود خواهد داشت که عبارت‌اند از: منطقه جامد در مجاورت جداره قالب، منطقه خمیری شامل مذاب و کریستال‌های جامد در مجاورت منطقه جامد و منطقه مذاب که پس از منطقه خمیری قرار دارد، می‌باشد.

۳۴- در مجاورت گوشه‌های خارجی قالب ماسه‌ای، انتقال حرارت بیشتر از گوشه‌های داخلی و قسمت‌های دیگر قالب می‌باشد. بنابراین مذاب در گوشه‌های خارجی سریعتر سرد و منجمد می‌شود.

۳۵- سرعت منجمد شدن مذاب به قابلیت هدایت حرارتی و ظرفیت حرارتی فلز و به‌ویژه قالب بستگی دارد.

۳۶- مذاب در قالب‌های فلزی و گرافیتی نسبت به قالب‌های ماسه‌ای سریعتر سرد شده و منجمد می‌شود.

۳۷- در جلوی جبهه انجماد آلیاژهایی که دامنه انجماد کمی دارند منطقه خمیری کوتاهی تشکیل می‌شود.

۳۸- هرچه شیب حرارتی قالب بیشتر گردد، عرض منطقه خمیری کاهش می‌یابد.

۳۹- در قطعات ال (L) شکل و تی (T) احتمال ایجاد حفره‌های انقباضی در محل تماس قسمت‌های افقی و عمودی قطعه که ضخمی‌ترین قسمت قطعه می‌باشد، بیشتر است.

۴۰- در قطعات L شکل و V شکل، برای جلوگیری از ایجاد مناطق تمرکز حرارت باید گوشه‌های تیز به‌طور مناسب قوس داده شوند.

۴۱- در قطعات به شکل +، احتمال به‌وجود آمدن حفره‌های انقباضی در مرکز قطعه نسبت به قطعات به اشکال L و V بیشتر است.

۴۲- در هنگام انجماد آلیاژ مذاب، عناصر آلیاژی از طرف پوسته جامد شده در فصل مشترک جامد و مایع به طرف مذاب رانده می‌شوند و سبب کاهش نقطه ذوب فلز پایه آلیاژ در این منطقه می‌شوند و در نتیجه مکانیزم انجماد فلز را تغییر می‌دهد.

۴۳- ساختمان میکروسکوپی یک قطعه ریختگی آلیاژی به ترتیب از سطح به مرکز قطعه، شامل دانه‌های تبرید شده، دانه‌های ستونی و دانه‌ها یا کریستال‌های هم محور می‌باشد.

۴۴- قطعات ریختگی با ساختمان دانه‌های ستونی دارای حفره‌های گازی و ناخالصی‌های

- کمتری در مقایسه با قطعات ریختگی با ساختمان دانه‌های هم محور می‌باشد.
- ۴۵- قطعات ریختگی، ساختمان کریستال‌های ستونی در جهت رشد کریستال‌ها دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به جهات دیگر می‌باشد.
- ۴۶- خواص مکانیکی در قطعات ریختگی با دانه‌های هم محور در تمام جهات قطعه تقریباً یکسان می‌باشد.
- ۴۷- قطعات ریختگی از جنس آلیاژهای با دامنه انجماد زیاد نسبت به آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه‌تر معایب انقباض و گازی بیشتری دارند.

### انتظارات آموزشی

هنرجویان باید در پایان این فصل قادر باشند:

#### الف) در سطح دانش

- ۱- حالات سه‌گانه ماده را بیان کند.
- ۲- شبکه کریستالی را تعریف کند.
- ۳- انواع شبکه کریستالی فلزات را نام ببرد.
- ۴- دانه و مرز دانه را تعریف کند.
- ۵- مشخصات فلزات خالص و آلیاژها را بیان کند.
- ۶- آلیاژهای محلول جامد را تعریف کند.
- ۷- ترکیبات بین فلزی را تعریف نماید.
- ۸- مراحل انقباض فلز مذاب در قالب را بیان کند.
- ۹- انجماد همه جانبه و جهت‌دار را تعریف کند.
- ۱۰- مناطق موجود در قطعه ریختگی را در حین انجماد بیان کند.
- ۱۱- مادون انجماد را تعریف کند.
- ۱۲- ساختار تشکیل بر اثر انجماد فلز مذاب در قالب را از سمت دیواره به طرف مرکز قالب نام ببرد.

۱۳- دیفوزیون (نفوذ) را تعریف کند.

#### ب) در سطح درک و فهم مطالب

- ۱- ساختار جامد، مایع و گاز را توضیح دهد.
- ۲- نحوه قرار گرفتن اتم‌های فلز در شبکه‌های کریستالی را توضیح دهد.



- ۳- نحوه انجماد فلز ناخالص را توضیح دهد.
- ۴- رفتار آلیاژهای محلول جامد در هنگام انجماد را توضیح دهد.
- ۵- رفتار آلیاژهای یوتکتیک را در هنگام انجماد توضیح دهد.
- ۶- جدایش در ساختمان کریستالی فلزات را شرح دهد.
- ۷- انقباض حجمی در حین انجماد قطعات ریختگی توضیح دهد.
- ۸- انجماد همه جانبه را توضیح دهد.
- ۹- انجماد جهت دار را توضیح دهد.
- ۱۰- سرعت انجماد در قطعات ریختگی را شرح دهد.
- ۱۱- چگونگی انجماد فلز در گوشه‌ها را توضیح دهد.
- ۱۲- نحوه انجماد آلیاژها در قالب را شرح دهد.

### ج) در سطح کاربرد معلومات

- ۱- نحوه ایجاد ساختمان میکروسکوپی فلزات خالص را توضیح دهد.
- ۲- منحنی‌های سرد شدن و انجماد فلز مذاب را توضیح دهد.
- ۳- نمودارهای تعادلی آلیاژهای محلول جامد را شرح دهد.
- ۴- نمودار تعادلی آلیاژهای یوتکتیک را توضیح دهد.
- ۵- تأثیر سرعت انجماد در ساختار میکروسکوپی فلز را شرح دهد.
- ۶- علت ایجاد حفره‌های انقباضی در گوشه‌های قالب را توضیح دهد.
- ۷- تأثیر نوع قالب بر روی انجماد فلز مذاب را توضیح دهد.

### د) در سطح تجزیه و تحلیل

- ۱- ساختار جامد، مایع و گاز را با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۲- شبکه‌های کریستالی فلزات را از لحاظ نحوه قرار گرفتن اتم و تراکم اتم‌ها در شبکه کریستالی را مقایسه نماید.
- ۳- نحوه انجماد فلز خالص در حالت تعادلی را نسبت به حالت غیرتعادلی در قالب ریخته‌گری مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.
- ۴- خواص فلزات و آلیاژها را با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۵- تأثیر نحوه انجماد به صورت تعادلی و غیرتعادلی بر ساختار میکروسکوپی آلیاژ را مورد بررسی قرار دهد.
- ۶- نحوه ایجاد حفره‌های انقباضی را در حین انجماد توضیح دهد.

۷- تأثیر سرعت و نحوه انجماد بر روی میزان تشکیل حفره‌های انقباض را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

۸- نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد کم را با آلیاژهای با دامنه انجماد زیاد مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار دهد.

### ه) در سطح ترکیب و نوآوری

۱- سرعت سرد شدن آلیاژ مذاب را در هنگام سردکردن مذاب تا هنگام کامل را بررسی نماید.

۲- ترکیب شیمیایی آلیاژ را در هر لحظه از انجماد با استفاده از نمودار تعادلی مشخص نماید.  
۳- میزان حفره‌های انقباضی که در حین انجماد یک آلیاژ ایجاد می‌شود، را با استفاده از دامنه انجماد آن آلیاژ پیشگویی کنند.

۴- نحوه جلوگیری از ایجاد حفره انقباض در قطعات ریختگی و به خصوص در گوشه‌ها و قسمت‌های ضخیم را توضیح دهد.

### و) در سطح ارزشیابی

۱- رفتار فلزات خالص و آلیاژها را در هنگام انجماد با یکدیگر مقایسه نماید.  
۲- نحوه انجماد آلیاژهای محلول و آلیاژهای یوتکتیک را با یکدیگر مقایسه کند.

زمان پیش‌بینی شده برای تدریس این فصل، ۷ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای برای تدریس و ۱ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای برای امتحان و بررسی سؤالات امتحانی است.