



## تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب

### آخال و آخال زدایی از مذاب



### 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 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.



## انواع آخال ها

معمولاً دو گروه آخال در مذاب وجود دارد:

**الف. آخال هایی که منشأ آن ها به غیر از خود فلز مذاب می باشد؛** به عبارت دیگر، در اثر عوامل خارجی به وجود آمده و وارد مذاب می شود.

□ سرپاره ها، ذرات مواد قالب، مواد نسوز از جمله آخال های خارجی می باشند. مثلاً سرپاره همراه مذاب وارد قالب می شود و پس از انجماد به صورت ناخالصی درون قطعه می ماند.

□ همچنین، مواد قالب در اثر عبور مذاب و سایش، به صورت ذرات ریز می آید و وارد محفظه قالب می شود که پس از انجماد به صورت آخال در قطعه ریختگی باقی می ماند. این نوع آخال ها، ماکروسکوپی هستند و با چشم غیرمسلح قابل رویت می باشند. در صورتی که قطعه دچار شکست شود، معمولاً در سطح مقطع شکست قطعه این نوع آخال ها دیده می شوند که در بیشتر اوقات منشأ ایجاد ترک بوده و سبب شکست قطعه می شود.



## انواع آخال ها

**ب. آخال هایی که منشأ ایجاد آن ها، خود فلز مذاب می باشند؛** 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 می شوند.

□ اکسیدها، که در اثر ترکیب فلز مذاب با اکسیژن به وجود می آیند، سولفیدها، نیتريد ها نمونه هایی از این نوع آخال هستند این نوع آخال ها بسیار کوچک هستند، به طوری که با چشم غیر مسلح نمی توان آن ها را دید؛ بلکه باید سطح مقطع نمونه را آماده سازی 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 می کنند. منگنز با گوگرد واکنش می دهد و تبدیل به سولفید منگنز می شود. به این ترتیب با کاهش مقدار گوگرد مذاب فولاد اثرات مضر گوگرد در فولاد کم می شود. در هنگام مطالعه ساختمان میکروسکوپی فولاد به وسیله میکروسکوپ سولفید منگنز، به صورت ذرات ریز خاکستری رنگ در ساختار فولاد دیده می شود.



## اکسیداسیون و اکسیدها

- ❑ معمولاً فلزات در طبیعت، به صورت سنگ های اکسید فلز موجود می باشند و پس از طی مراحل استخراج به فلز تبدیل می شوند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که فلزات در برابر گازهای اکسیدکننده، به خصوص اکسیژن، مقاوم نیستند و همواره لایه ای از اکسید فلز روی سطح فلز و یا در مذاب فلز وجود دارد پس می توان اکسید فلز را به عنوان مهم ترین آخال در فلزات نام برد.
- ❑ واکنش پذیری فلزات مختلف با اکسیژن متفاوت است. مثلاً فلزی مانند منیزیم به سرعت با اکسیژن ترکیب می شود و فلزی مانند طلا واکنش پذیری 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 قسمت های داخلی فلز آلومینیوم جلوگیری می کند؛ در نتیجه، سرعت اکسیدشدن به شدت کاهش یافته و اکسیداسیون متوقف می شود. اما لایه اکسیدی تشکیل شده روی سطح فلز آهن، که میل ترکیبی کمتری با اکسیژن دارد، غیریکنواخت و متخلخل است؛ به طوری که اکسیژن به راحتی می تواند از لایه اکسیدی عبور کرده، به قسمت های داخلی فلز نفوذ کند و با آهن ترکیب شود. بنابراین، اکسیداسیون ادامه می یابد و متوقف نمی شود.



## اکسیداسیون و اکسیدها

- ❑ 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 خلوص 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.



## منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

۱. **مواد شارژ :** 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:** 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.



## منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

۴. **هم زدن و آشفته ساختن مذاب:** معمولاً برای دست یابی 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.



## منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

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، و غیره، می باشد مقدار آخال بیشتری در مذاب ایجاد خواهد شد به عنوان مثال،  $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $CO$  مانند گازهای 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 بوته 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، بوته 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.



## منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

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 داده شود.

✓ به عنوان مثال، اگر برای تهیه مذاب آلومینیوم از ابزار آهنی بدون پوشش استفاده شود، در اثر تماس مستقیم مذاب آلومینیوم با ابزار باعث ایجاد آخال های میکروسکوپی در قطعه ریختگی می شود.



## منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

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.



## منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

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 کانال های جریان مذاب به داخل قالب، گیر کرده و نتواند وارد محفظه قالب شود. همچنین نوع آخال و چگالی آن نسبت به مذاب نیز در طراحی سیستم راهگاهی مناسب جهت جلوگیری از آخال ها بسیار مهم می باشد.

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 می یابد؛ به طوری که مقدار زیادی آخال در مذاب تولید می کند. به همین دلیل، باید از افزایش دمای بارریزی اجتناب نمود.



## آخال زدایی

□ به مجموعه عملیاتی که برای جلوگیری از ورود آخال ها به مذاب و حذف یا کاهش اثرات نامطلوب آن ها در مذاب، به کار می رود، آخال زدایی گفته می شود.

□ معمولاً برای آخال زدایی مذاب، از فلاکس استفاده می شود. فلاکس ها، ترکیباتی هستند که برای جلوگیری اکسیدشدن مذاب، احیا اکسیدهای موجود در مذاب و جدا کردن آخال های موجود در مذاب، استفاده می شود.



## آخال زدایی

### فلاکس هایی که برای آخال زدایی استفاده می شوند عبارت اند از:

۱. **فلاکس های پوششی:** وقتی این فلاکس ها به مذاب اضافه می شوند لایه ای روی سطح مذاب ایجاد می کنند که از نفوذ اکسیژن به داخل مذاب جلوگیری می کند. بنابراین مقدار آخال در مذاب افزایش نمی یابد.

□ معمولاً این فلاکس ها، به صورت جامد خشک و یا به صورت مذاب در سطح فلز مذاب قرار می گیرند. بعضی از فلاکس های پوششی، آغشتگی سرباره به مذاب را کاهش می دهند. بنابراین، در هنگام سرباره گیری از خروج مذاب فلز به همراه سرباره جلوگیری می شود. اگر سرباره، قابلیت آغشتگی به مذاب را داشته باشد، در هنگام سرباره گیری، مقدار زیادی از مذاب خارج می شود. به این ترتیب، با افزودن فلاکس پوششی، آغشتگی سرباره به مذاب کاهش یافته، سرباره به راحتی از مذاب خارج می شود و اتلاف مذاب کاهش می یابد.

□ آزمایش های انجام شده بر روی عملکرد فلاکس های پوششی، نشان داده که استفاده از آن ها مقدار تلفات مذاب را تا ۵۰ درصد کاهش داده و به همین نسبت، میزان آخال های موجود در مذاب کمتر می شود، البته لازم به ذکر این نکته است که فلاکس های پوششی برای تمیز کردن مذاب کاربرد ندارند، بلکه به عنوان مانع، در برابر ورود اکسیژن به مذاب استفاده می شوند.



## آخال زدایی



عکس سرباره آلومینیوم (الف) قبل از فلاکس زنی (ب) بعد از فلاکس زنی

همان طور که مشاهده می شود قبل از فلاکس زنی، سرباره آغشتگی زیادی به مذاب داشته و در هنگام سرباره گیری، مقداری مذاب همراه سرباره خارج شده است که پس از انجماد مذاب، سرباره به صورت توده ای چسبنده دیده می شود.

اما پس از فلاکس زنی، آغشتگی سرباره به مذاب کاهش یافته و موجب کاهش خروج مذاب در هنگام سرباره گیری شده است و سرباره به صورت توده شن و ماسه خشک دیده می شود.



## آخال زدایی

**۲. فلاکس های تمیزکننده:** وظیفه این نوع فلاکس ها، جداکردن ذرات آخال معلق در مذاب و خارج نمودن آن ها می باشد.

مهم ترین وظایف فلاکس های تمیزکننده عبارتند از:

**الف. کاهش وزن مخصوص:** آخال در مذاب به سه حالت می توانند وجود داشته باشد:

۱. در سرباره مذاب قرار گیرد.
۲. به صورت شناور در مذاب وجود داشته باشد.
۳. به صورت لجن کف پخته ته نشین شود.

❖ حال اگر بتوان به طریقی وزن مخصوص آخال ها را کاهش داد، آخال ها به سطح مذاب خواهند آمد و می توان آن ها را به راحتی از مذاب جدا نمود. به همین منظور، از فلاکس هایی که سبب کاهش وزن مخصوص آخال می شوند استفاده می شود.





### 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	۸/۳۲	$\text{CuCl}_2$ $\text{CuO}$	۳/۰۵ ۵/۶
Al	۲/۳	$\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{AlCl}_3$ سرباره های اکسیدی	۴ ۱/۵۲ ۱/۸
Fe	۶/۹	$\text{FeO}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ $\text{FeCl}_2$ $\text{FeCl}_3$ سرباره آهنی	۵/۱ ۲/۵۲ ۲/۸۰ ۳-۴/۲
Mg	۱/۵	$\text{MgO}$ $\text{MgCl}_2$	۳/۶ ۲/۳
Zn	۶/۵	$\text{ZnS}$ $\text{ZnCl}_2$ $\text{ZnO}$	۳/۹ ۲/۷۵ ۵/۶
		$\text{SiO}_2$ خاک نسوز و	۲



### آخال زدایی

ب. کاهش آغشتگی به مذاب: معمولاً آخال هایی که در مذاب شناورند، آغشتگی زیادی به مذاب دارند و نمی توان آن ها را به راحتی از مذاب خارج نمود و یا در صورت خارج نمودن آن ها، مقدار زیادی مذاب همراه آن ها خارج می شود و اتلافات مذاب افزایش می یابد، با استفاده از فلاکس های تمیزکننده، می توان آغشتگی آخال به مذاب را کاهش داد و آخال را به راحتی از مذاب خارج نمود. این فلاکس ها در فصل مشترک مذاب و آخال، یک لایه نازک ایجاد می کند و آغشتگی آخال به مذاب را کاهش می دهد. بنابراین خروج آخال ها از مذاب راحت تر انجام می گیرد. از طرف دیگر، می توان از برخی گازها، مانند روش گاززدایی، استفاده کرد که با تزریق آن ها 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 می دهد، و موجب تجمع آخال ها در سطح مذاب می شود.

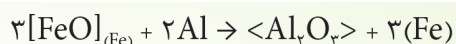
ج. افزایش نقطه گداز: بعضی از آخال ها در شرایط ذوب فلز، به صورت مایع هستند؛ یعنی نقطه ذوب آن ها پایین و در حد نقطه ذوب فلز می باشد. لذا جدا کردن آن ها از فلز مذاب منجر به اتلاف مقدار زیادی مذاب می شود. به همین دلیل برای خارج کردن این نوع آخال ها، از نوعی فلاکس تمیزکننده استفاده می شود که نقطه ذوب آخال را افزایش می دهد و آخال در شرایط ذوب فلز، جامد می گردد که با سرباره گیری به راحتی از مذاب خارج می شود.



## روش های ترکیبی آخال زدایی

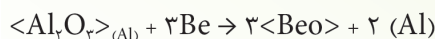
□ در این روش، از عناصری که نسبت به فلز میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن، نیتروژن و غیره دارند، استفاده می شود. این عناصر، ترکیباتی که شامل مذاب و اکسیژن، نیتروژن و غیره باشند را احیاء نموده، عنصر فلزی را آزاد کرده و به فلز مذاب هدایت می کند. سپس خود این عناصر اضافه شونده با اکسیژن، نیتروژن و غیره ترکیب می 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.

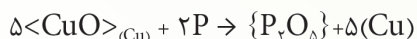


## روش های ترکیبی آخال زدایی

□ 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.





## روش های ترکیبی آخال زدایی

❖ 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.



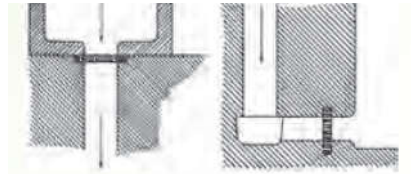
## عملیات فیلتر کردن مذاب:

- ❖ 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 می باشند، عبور داده تا آخال های بزرگتر نتوانند از ابعاد منافذ فیلتر عبور کنند و پشت فیلتر باقی بمانند و مذاب با درصد آخال پایین تر از آن عبور کند و وارد قالب قطعه ریختگی شود.
- ❖ عملیات فیلتر کردن می تواند در خود پاتیل و یا حتی در سیستم راهگاهی انجام شود. لازم به ذکر این نکته است که با فیلتر کردن، نمی توان تمام آخال ها را از مذاب خارج کرد؛ زیرا آخال های میکروسکوپی می توانند از منافذ فیلتر عبور کنند.



## عملیات فیلتر کردن مذاب:

❖ در شکل زیر محل های پیشنهادی برای قرار دادن فیلتر در سیستم راهگاهی 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 راهگاه و بعد از حوضچه بالای راهگاه بار ریز تعبیه شده است.



شماتیک روش های فیلتر کردن برای آلومینیوم در سیستم راهگاهی



## تلقیح (جوانه زایی)

□ برای بهبود خواص قطعات ریختگی، از جمله خواص مکانیکی، فیزیکی و ریخته گری، روش های مختلفی وجود دارد که بیشتر آن ها در حالت جامد روی قطعه ریختگی انجام می شود؛ مانند عملیات حرارتی و کارهای مکانیکی که سبب تغییر ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی می شود.

□ اما در حالت مذاب نیز می توان 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 می کنند.

□ به طور کلی، این عناصر سبب ریز شدن دانه ها در ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی می شود. همچنین، موجب تولید فازهایی می شود، که در حالت عادی در اثر انجماد مذاب تشکیل نمی شوند.



## تلقیح (جوانه زایی)

- ریز دانه شدن یا ایجاد فازهای جدید سبب افزایش خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخته گری قطعات ریختگی می شود.
- به عنوان مثال اضافه کردن ۰/۲ درصد بُر یا ۰/۲ درصد تیتانیم به مذاب آلومینیوم، باعث می شود که پس از ریختن مذاب به داخل قالب و انجماد، دانه های تشکیل شده در آلومینیوم و آلیاژهای آن ۲/۵ میلی متر به ۰/۱ میلی متر کاهش یابد.
- همچنین با اضافه نمودن حدود ۰/۳ درصد استرانسیم به مذاب آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم، اندازه دانه های تشکیل شده در حین انجماد به مقدار بسیار زیادی کاهش می یابد.
- اضافه نمودن مقدار کمی سیلیسیم به مذاب چدن، موجب تشکیل گرافیت آزاد در ساختار میکروسکوپی چدن می شود و از به وجود آمدن چدن سفید، که سخت و ترد می باشد، در قطعات نازک جلوگیری می نماید و خواص مکانیکی قطعه، مانند چقرمگی و مقاومت به ضربه، را افزایش می دهد.
- همچنین، با افزودن مقدار بسیار کمی منیزیم در حد ۰/۰۵ درصد به مذاب با ترکیب شیمیایی چدن، می توان از به وجود آمدن گرافیت آزاد ورقه ای در ساختار میکروسکوپی جلوگیری کرد و به جای آن گرافیت کروی در ساختار چدن ایجاد نمود که سبب افزایش خواص مکانیکی چدن به مقدار قابل ملاحظه ای می شود.



## تلقیح (جوانه زایی)

- فروسیلیکو منیزیم - Ferro Silicon Magnesium که به آن فرومنیزیم نیز گفته می شود از خانواده فرو آلیاژ می باشد و از ترکیب سیلیس، منیزیم و آهن به دست می آید. شکل ظاهری آن به صورت کلوخه های خاکستری و نقره ای رنگ می باشد. با اضافه نمودن فروسیلیکون منیزیم به آلیاژ چدن مقاومت گرافیت های ایجاد شده افزایش پیدا می کند و مقاومت به ضربه را افزایش می دهد.
- فروسیلیکو منیزیم در چدن داکتیل کاربرد دارد. این فروآلیاژ از ترکیب Si، Mg و Fe به دست می آید و نام اختصاری آن FeSiMg می باشد. دمای ذوب آن ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.
- کاربرد اصلی فرومنیزیم تبدیل گرافیت های ورقه ای به کروی در تولید چدن و افزایش استحکام آن از این طریق است. فرومنیزیم در آلیاژ سازی چدن داکتیل یا نشکن کاربرد فراوانی دارد و شرایط را برای تشکیل گرافیت کروی، مناسبتر می سازد.
- با افزودن فرو سیلیکو منیزیم به آلیاژهای چدنی و فولادی علاوه بر کروی کردن گرافیتها مقاومت به ضربه را در قطعات ریختگی افزایش می دهد. همچنین استحکام آن را از ۴۰ تا ۶۰ کیلوگرم بر میلیمتر مربع به ۶۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم بر میلیمتر مربع می رساند.
- عموماً فروسیلیکو منیزیم کمی قبل از ریختن مذاب و بار ریزی در قالب اضافه می شود. که منیزیم توسط جوانه های گرافیت جذب شده، و تنش سطحی را تغییر دهد، و شرایط رشد را در تمام جهات یکنواخت می کند. همچنین استحکام کششی قطعات را بهبود می دهد.



## شرایط مواد جوانه زا

- با توجه به مثال های ذکر شده، مشخص می شود که عمل جوانه زایی در مذاب تشکیل اولین کریستال های جامد در مذاب در حین انجماد یکی از روش های تلقیح می باشد.
- در این روش، با اضافه نمودن موادی با ترکیبات مشخص به مذاب، که در دمای مذاب به طور جامد می باشند، می توان تعداد محل هایی را که کریستال های جامد از مذاب تشکیل شود را افزایش داد. در نتیجه، تعداد دانه های تشکیل شده در حین انجماد بیشتر می شود و دانه ها، ریزتر خواهد شد.
- موادی که برای جوانه زایی در مذاب فلز استفاده می شوند، دارای شرایط مشخص می باشند که عبارتند از:
- ❖ **دیرگدازی:** نقطه ذوب مواد جوانه زا باید از دمای مذاب بیشتر باشد در غیر این صورت، قبل از انجام وظیفه جوانه زایی در مذاب، از حالت جامد خارج شده و به حالت مذاب در می آید.



## شرایط مواد جوانه زا

- ❖ **قابلیت آغشتگی به مذاب:** مواد جوانه زا باید بتوانند در تمام قسمت های مذاب پراکنده شوند تا به عنوان هسته جوانه زایی عمل نمایند. به همین منظور، باید قابلیت آغشتگی به مذاب خوبی داشته باشند. در غیر این صورت، بسته به میزان چگالی آن ها نسبت به مذاب یا در سطح مذاب چگالی کمتر و یا در کف مذاب چگالی بیشتر جمع می شوند و نمی توانند وظیفه جوانه زایی خود را در تمام قسمت های مذاب انجام دهند.
- ❖ **ساختار کریستالی:** ساختار کریستالی مواد جوانه زا باید نزدیک به ساختار کریستالی فلز مذاب باشد تا در حین انجماد، اتم های مذاب به سمت آن ها حرکت کنند و در محل های مشخص شده کریستالی، روی مواد جوانه زا قرار گیرند و سبب رشد کریستال جامد شوند. اما اگر ساختار کریستالی مواد جوانه زا متفاوت با فلز مذاب باشد، مواد جوانه زا نمی توانند به عنوان محل هایی برای تشکیل کریستال جامد در مذاب (هسته) عمل کنند چراکه **زاویه ترشوندگی** **افزایش یافته** و خود سبب به وجود آمدن عیوبی در ساختار کریستالی فلز جامد می شوند.



## نکاتی چند در مورد عملیات جوانه زایی

۱- **زمان جوانه زایی:** زمان افزودن مواد جوانه زا در مذاب، اهمیت بسیار زیادی دارد، به صورتی که اگر زمان برای اضافه نمودن جوانه زا، مناسب در نظر گرفته نشود، عمل جوانه زایی به صورت کامل انجام نخواهد شد. به عنوان مثال، اگر مواد جوانه زا قبل از عملیات گاززدایی و آخال زدایی به مذاب اضافه شوند، بسیاری از جوانه زاها در حین گاززدایی و آخال زدایی از مذاب خارج می شوند و عمل جوانه زایی به طور کامل در مذاب انجام نخواهد شد. به همین منظور، بهترین زمان برای اضافه نمودن مواد جوانه زا، در آخرین مرحله تهیه مذاب و قبل از ریختن مذاب به داخل قالب است. حتی در برخی موارد، مواد جوانه زا در سیستم راهگاهی به مذاب اضافه می شوند؛ چون در صورت طولانی شدن زمان حضور جوانه زا در مذاب، امکان از بین رفتن جوانه زاها وجود دارد.

۲- **دما و زمان (میرایی):** در صورتی که دمای مذاب بالا باشد، امکان ذوب شدن و حل شدن مواد جوانه زا در مذاب زیاد می شود. به همین ترتیب اگر زمان نگهداری مذاب پس از اضافه نمودن مواد جوانه زا طولانی شود، امکان ذوب شدن و حل شدن مواد جوانه زا در مذاب افزایش می یابد که موجب کاهش زیاد راندمان یا بازدهی جوانه زایی می شود. بنابراین، دما و زمان در اضافه نمودن مواد جوانه زا به مذاب و عملکرد آن ها، بسیار مهم هستند.



## نکاتی چند در مورد عملیات جوانه زایی

۳- **اندازه جوانه زاها:** اندازه جوانه زاها باید مناسب باشند تا ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی ریزدانه شود و خواصی آن بهبود یابد. اگر اندازه ذرات جوانه زا، خیلی بزرگ باشد، سبب به وجود آمدن دانه های درشت در قطعه ریختگی شده و خواص قطعه را کاهش می دهد؛ برعکس، اگر جوانه زاها خیلی ریز باشند، پس از اضافه شدن به مذاب، در مدت زمان کوتاهی حل شده و سبب می شود که ساختار دانه بندی موردنظر ایجاد نشود، چون تعداد زیادی از جوانه زاها کارایی خود را از دست داده اند. لازم به ذکر این نکته است که اندازه مناسب جوانه زا برای آلیاژهای مختلف از روی تجربه انجام آزمایش های عملی به دست می آید.

۴- **پخش یکنواخت:** اگر مواد جوانه زا، به طور یکنواخت در تمام قسمت های مذاب پخش شوند ساختار میکروسکوپی دانه های ریز با ابعاد تقریبی یکسان حاصل، خواهد شد که خواص مکانیکی و فیزیکی در تمام جهات آن تقریباً یکسان خواهد بود. اما، اگر مواد جوانه زا به طور یکنواخت در مذاب پخش نشوند در محل هایی که تعداد جوانه زاها بیشتر است، دانه ها ریزتر و در سایر قسمت های قطعه دانه ها درشت تر خواهد شد. عدم یکنواختی در اندازه دانه، کاهش خواص قطعه (مکانیکی و فیزیکی) را در پی دارد.



## نکاتی چند در مورد عملیات جوانه زایی

۵- مقدار جوانه زا: اگر مقدار جوانه زا کمتر از حد معین باشد ساختار دانه بندی ریزدانه به وجود نخواهد آمد؛ چون تعداد جوانه زها کم بوده و محل های تشکیل کریستال دانه در مذاب کم خواهد بود. بنابراین، اندازه دانه ها، به حد لازم، ریز نخواهد شد. در صورتی که تعداد جوانه زها بسیار زیاد باشد، به دلیل حذف اثرات یکدیگر در حین انجماد، دانه ها در حد لازم ریز نخواهد شد. این موضوع، عدم یکنواختی اندازه دانه ها در قطعه و درشت شدن دانه ها را در پی دارد که موجب کاهش خواص مکانیکی و فیزیکی قطعه خواهد شد.



## مزایا و عیوب جوانه زایی

### الف. مزیت ها

۱- خواص مکانیکی: استفاده از جوانه زا سبب به وجود آمدن ساختار میکروسکوپی دانه ریز در قطعه ریختگی می شود. ریز شدن دانه ها سبب افزایش مرزدانه ها در ساختار میکروسکوپی می شود از آن جا که خواص مکانیکی قطعه متأثر از ابعاد دانه ها و تعداد مرزدانه ها است، هرچه دانه ها ریزتر و تعداد مرزدانه ها بیشتر باشد، خواص مکانیکی از قبیل سختی، استحکام و مقاومت به ضربه افزایش می یابد.

۲- مک های گازی و انقباضی: استفاده از مواد جوانه زا و ریزدانه شدن دانه موجب می شود که گازهایی که به حالت مولکولی در حین انجماد به وجود می آیند در قطعه محبوس شوند. همچنین مک های گازی و انقباضی کوچک تر شده و در برخی مواد، حذف می شوند.

۳- استفاده از جوانه زها به مقدار مناسب سبب ایجاد دانه های ریز و با ابعاد تقریباً یکسان در ساختار قطعه ریختگی می شوند که یکنواخت شدن خواص در تمام جهات قطعه را در پی دارد.





## مزایا و عیوب جوانه زایی

### الف. مزیت ها

- ۴- استفاده از جوانه زها سبب ریز شدن دانه ها در ساختار میکروسکوپی فلز می شود. ریز شدن دانه در آلیاژهایی که احتمال ترک در حین انجماد آن ها وجود دارد موجب می شود ترک های تشکیل شده به ابعاد دانه محدود شود. در نتیجه طول ترک ها کم تر خواهد شد و در اغلب اوقات قابل چشم پوشی هستند. بنابراین استفاده از جوانه زا، حساسیت به ایجاد ترک های حین انجماد در ریخته گری را کاهش می دهد.
- ۵- ریز شدن دانه های فلز در اثر استفاده از مواد جوانه زا موجب جلوگیری از براده های با طول زیاد در حین ماشین کاری می شود و براده ها کوچک می شوند. کوچک شدن براده ها، نشان دهنده افزایش خاصیت ماشین کاری فلز می باشد. زیرا فشار کمتری به دستگاه ماشین کاری 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 جوانه زا سبب افزایش مرزهای دانه که خود دارای انرژی نهفته می باشند می شود. بنابراین قابلیت پولیش کاری و آبکاری قطعه افزایش می یابد. چون مرز دانه ها، محل های مناسبی برای قرار گرفتن اتم های فلز دیگر برای آبکاری می باشد.
- ۷- با توجه به اینکه استفاده از مواد جوانه زا سبب افزایش مرزدانه در ساختار قطعه ریختگی می شود مرزدانه، خود به علت ناقص بودن ساختار کریستالی دارای انرژی می باشد، بنابراین، فلز دارای مقداری انرژی در حالت عادی می شود. پس عملیات حرارتی با اعمال انرژی حرارتی کمتر نسبت به ساختار میکروسکوپی با دانه بندی درشت، میسر می شود.



## مزایا و عیوب جوانه زایی

### ب. عیب ها

- ۱- اضافه نمودن مواد جوانه زا در مذاب که معمولا به صورت جامد می باشد، سبب افزایش گران روی (ویسکوزیته) مذاب می شود؛ در نتیجه، سیالیت مذاب کاهش می یابد.
- ۲- ممکن است در هنگام اضافه نمودن جوانه زا، مقداری ترکیبات ناخواسته یا رطوبت وارد مذاب شود که موجب افزایش ناخالصی ها در مذاب و در قطعه می شود.