

### عملیات کیفی

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل، بتواند:

- ۱- گاز، منابع تولید گاز و عملیات گاززدایی را تشریح کند.
- ۲- آخال، منابع تولید آخال و آخال‌زدایی را شرح دهد.
- ۳- عملیات تلقیح را تشریح کند.

### ۲- عملیات کیفی

تعریف: بنا به تعریف، عملیات کیفی به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که در خلال ذوب و ریخته‌گری به منظور بهبود بخشیدن به خواص متالورژیکی، مکانیکی، فیزیکی و ریخته‌گری قطعات انجام می‌گیرد.

اهم این عملیات عبارتند از:

الف - عملیات گاززدایی

ب - عملیات آخال‌زدایی و ...

ج - عملیات تلقیح (جوانه‌زایی)

در این فصل، عملیات فوق، به طور جداگانه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱-۲- گاز و عملیات گاززدایی

بی شک، وجود مک‌های گازی، یکی از مهم‌ترین عیب‌ها در قطعات ریخته‌گری آلیاژهای مختلف محسوب می‌گردد. عموماً مک‌ها در نتیجه محبوس شدن گاز در حین عملیات ریخته‌گری و انجماد به وجود می‌آید.

## ۱-۱-۲- واکنش گاز در مذاب

گازها با مذاب واکنش‌های متفاوتی دارند که با توجه به تأثیرشان در فلز مذاب، آن‌ها را به سه گروه تقسیم نموده‌اند.

**الف - اثر شیمیایی:** برخی از گازها، بر اثر تماس با فلز مذاب، با آن واکنش شیمیایی انجام می‌دهند. این واکنش‌ها منجر به تشکیل ترکیبات شیمیایی مانند اکسیدها، نیتروورها، سولفیدها، کربورها و غیره می‌شوند. این ترکیبات در فلز مذاب معمولاً به صورت ذرات ریز جامد و یا در بعضی موارد به صورت مذاب ظاهر می‌شوند. در این رابطه می‌توان به ترکیب جامد اکسید آلومینیم ( $Al_2O_3$ ) در مذاب آلومینیم اشاره کرد. واکنش‌های شیمیایی در همین فصل، در قسمت ۲-۲ «آخال و آخال‌زدایی» مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**ب- اثر فیزیکی (انحلال):** تعدادی از گازها ممکن است در مذاب حل شوند. این گونه گازها معمولاً میل به ترکیب شیمیایی با مذاب ندارند و در مذاب به صورت اتمی انحلال می‌یابند. به عنوان مثال، می‌توان انحلال گاز هیدروژن در مذاب آلومینیم را ذکر کرد<sup>۱</sup>.

**ج - خنثی:** بعضی از گازها با مذاب نه میل به ترکیب شیمیایی و نه اثر شیمیایی دارند. به این گروه از گازها، گازهای خنثی یا بی‌اثر می‌گویند. مانند گازهای هلیوم و یا نیتروژن در مذاب آلومینیم که خنثی می‌باشند. از این نوع گازها، همان‌گونه که بعداً ملاحظه خواهید کرد، به منظور گاززدایی مذاب استفاده می‌شود.

## ۲-۱-۲- منابع تولید گاز در مذاب

منابع تولید گاز در مذاب عبارتند از:

الف - هوای محیط

ب - سوخت و محصولات احتراق

ج - مواد نسوز

د - وسایل و ابزارهای ذوب

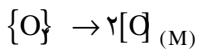
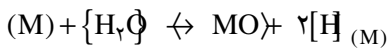
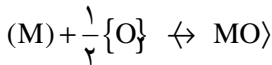
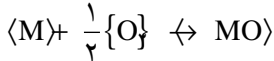
ه - مواد شارژ

و - مواد قالب و ماهیچه

---

۱- باید توجه داشت که برخی از گازهای مرکب، هم اثر شیمیایی و هم اثر شیمیایی - فیزیکی بر مذاب دارند. مانند بخار آب که منجر به تشکیل اکسید و نیز انحلال گاز هیدروژن در مذاب می‌شود.

**الف — هوای محیط:** وجود گازهایی مانند هیدروژن، اکسیژن، ازت و بخار آب در هوای محیط ذوب، با انجام واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی موجب تلفات عناصر آلیاژی و تشکیل مواد ترکیبات ناخواسته و حضور آن‌ها در مذاب می‌گردد. شکل کلی این واکنش‌ها به صورت زیر است:



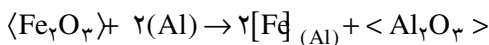
علامت‌های  $\langle \rangle$ ،  $( )$  و  $\{ \}$  به ترتیب نشانگر حالت‌های جامد، مایع و گاز از عناصر و مواد

می‌باشند.  $M$ ، علامت عمومی برای فلز است و علامت  $[ ]_{(M)}$  نیز نشان‌دهنده‌ی حضور عنصر مربوط، به شکل محلول در مذاب است.

**ب — سوخت و محصولات احتراق:** انواع و اقسام مواد آلی حاوی کربن و هیدروژن، نوعی سوخت به‌شمار می‌آیند. سوخت‌های معمولی، عموماً حاوی ترکیبات هیدروکربوره به فرمول عمومی  $C_m H_n$  همراه با رطوبت، مقادیر کمی گوگرد، خاکستر (در مورد سوخت‌های مایع و گازی ناچیز است) و نیز ترکیبات نیدروژن سولفور هستند. محصولات احتراق انواع سوخت‌ها، ترکیباتی نظیر  $SO_2$ ،  $H_2O$ ،  $CO$ ،  $CO_2$  را شامل می‌شود که ممکن است نسبت به مذاب بی‌اثر نباشند و موجب تلفات ذوب و یا افزودن مواد اضافی در مذاب گردند.

**ج — نسوزها:** برای ذوب و نگهداری مذاب فلزات و آلیاژها، از مواد دیرگداز یا نسوز استفاده می‌شود. از ویژگی‌های مهم این مواد که معمولاً در کوره‌ها، نگه‌دارنده‌ها، پاتیل‌ها و بوت‌ها به کار گرفته می‌شوند، دیرگدازی بالا، عایق حرارتی خوب و بی‌اثر بودن نسبت به مذاب و سرباره را می‌توان نام برد. وجود مواد ناخالصی در نسوزها، ضمن کاهش دادن نقطه‌ی دیرگدازی، موجب واکنش شیمیایی و نیز داخل شدن مکانیکی آن‌ها در مذاب می‌گردد. همچنین خستگی پاتیل، حرکت و برخورد مذاب با جداره‌ی کوره و بالاخره سایش و برخوردهای ضربه‌ای مواد شارژ، از عوامل دیگری هستند که دخول مکانیکی مواد نسوز به درون مذاب و در نتیجه آلودگی آن را به دنبال دارند.

د - وسایل و ابزارهای ذوب: یکی دیگر از منابع آلودگی مذاب، به هنگام ذوب فلزات و آلیاژها، وسایل و ابزارهایی هستند که به منظور افزودن عناصر و مواد مورد نیاز به مذاب، به هم زدن و یکنواخت کردن مذاب و نمونه برداری و ... به کار می روند. به عنوان مثال، جذب شدن آهن از وسایل آهنی توسط مذاب آلومینیم و نیز تلف شدن مذاب در اثر واکنش شیمیایی آن با مواد اکسیدی را می توان نام برد:



ه - مواد بار (شارژ): مواد اصلی برای بار یا شارژ یک کوره، با توجه به جنبه های متالورژیکی و اقتصادی، معمولاً شامل شمش های اولیه و ثانویه، برگشتی ها و قراضه ها می باشد. شمش های اولیه موادی هستند که مستقیماً از کوره های ذوب مادر و یا الکترولیز اولیه، تهیه می گردند. این شمش ها ممکن است با درجه خلوصی برابر ۹۹ تا ۹۹/۹ درصد (در مورد اکثر فلزات غیر آهنی) و یا به صورت ناخالص به همراه چند عنصر (در مورد چدن ها) تولید شوند. در هر حال، وجود ناخالصی در این شمش ها می تواند محدودیت هایی را از نظر ترکیب شیمیایی نهایی آلیاژ مذاب به وجود آورد. به عنوان مثال، شمش های محصول کوره ی بلند که به آهن خام موسوم هستند، علاوه بر داشتن عناصری مانند کربن، سیلیسیم و منگنز، دارای مقادیری فسفر و گوگرد نیز می باشند. با توجه به اثرات نامطلوب فسفر و گوگرد در خواص و مشخصات قطعه ریختگی، حذف آن ها قبل از مذاب ریزی امری ضروری است.

شمش های ثانویه یا آلیاژی، موادی هستند که با اهداف خاص و از پیش مشخص شده تهیه می گردند. این شمش ها ممکن است با عملیات الکترولیز مجدد و یا تصفیه، به صورت موادی با درجه خلوص بالاتر تهیه شوند و یا آن که بر اساس ترکیب شیمیایی آلیاژهای متداول در مصارف صنعتی تهیه گردند و بدون نیاز به آلیاژ سازی کامل مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، کاربرد این شمش ها باید بر اساس ترکیب شیمیایی مورد نظر صورت گیرد؛ قراضه ها، معمولاً شامل زایده ها و اضافات (دورریز) و قطعات فرسوده می باشند که بنابر دلایل اقتصادی در ریخته گری به مصرف می رسند. با توجه به این که این مواد، عموماً از بقایای وسایل و تجهیزات متنوع هستند و شناخت دقیقی نسبت به ماهیت آن ها وجود ندارد، از این رو کنترل ترکیب شیمیایی آن ها بسیار دشوار است. و استفاده صحیح و مطلوب از آن ها، مستلزم اطلاع کامل بر عناصر آلیاژی و نیز نمونه برداری از مذاب می باشد. علاوه بر این، معمولاً این مواد با ترکیبات و مواد ناخواسته ای از قبیل مواد اکسیدی (قطعات آهنی زنگ زده)، رطوبت، مواد روغنی و غیره همراه هستند که برای جلوگیری از

آلودگی مذاب، برطرف کردن آن‌ها ضروری است. زائده‌های قطعات ریختگی از قبیل راه‌گاه، تغذیه و قطعات معیوب در یک واحد تولیدی به برگشتی موسوم می‌باشد. تفاوت اساسی این مواد با قراضه‌ها، مشخص بودن ترکیب شیمیایی و نحوه‌ی تولید آن‌ها در واحد مربوط می‌باشد. چنان‌چه این مواد در اندازه و شکل‌های مناسب وجود داشته باشد، می‌تواند همانند شمش‌های آلیاژی مورد استفاده قرار گیرد. در هر حال، برگشتی‌ها برای واحد تولیدی دیگر و در صورت عدم شناخت ترکیب شیمیایی و شرایط تولید آن‌ها، قراضه محسوب می‌شوند و می‌توانند کنترل ترکیب شیمیایی مذاب را دچار اشکال نمایند. برگشتی‌ها، در صورت همراه بودن با ماسه و مواد و ترکیبات ناخواسته، سبب آلودگی مذاب می‌گردند.

سوفاره یا براده نیز از انواع قراضه‌ها می‌باشد که در اثر تراشکاری قطعات ریختگی یا نوردی به دست می‌آید. در این ماده، که به‌عنوان یک ماده اولیه‌ی ارزان در صنایع ریخته‌گری به مصرف می‌رسد، نسبت سطح به حجم بسیار بالاست. از این رو این مواد به هنگام ذوب شدیداً واکنش‌پذیر هستند و با تولید مواد ناخواسته اکسیدی، مذاب را آلوده می‌سازند. معمولاً به منظور استفاده‌ی مطلوب از براده‌ها، بایستی آن‌ها را پس از شست‌وشو با محلول رقیق سود و خشک کردن به‌صورت خسته (بریکت)‌های فشرده‌ای درآورد. در هر حال استفاده از براده‌ها به‌عنوان بار جامد اولیه هیچ‌گاه توصیه نمی‌گردد؛ بلکه روش درست و مناسب، غوطه‌ور نمودن آن‌ها در زیر لایه‌های مذاب می‌باشد.

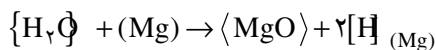
بدین ترتیب مشخص می‌گردد کنترل ترکیب شیمیایی مذاب، با توجه به مجموعه‌ی واکنش‌های ذکرشده از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل با کنترل فرآیند ذوب و نیز مراقبت‌های لازم در زمینه‌های انتخاب مواد، وسایل و تجهیزات و تکنولوژی ذوب، ترکیب شیمیایی مذاب را باید به نحو مطلوبی کنترل نمود.

در جدول ۱-۲ درصد تلفات عناصر مختلف تحت شرایط نوع شارژ و کوره، درج شده است.

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

عنصر	شمش های اولیه			برگشتی ها و قراضه		
	کوره الکتريکي	کوره شعله ای	کوره بته ای	کوره الکتريکي	کوره شعله ای	کوره بته ای
آلومینیم	۱-۱/۲	۱-۲	۱-۱/۵	۱-۲	۲/۵-۳	۱/۵-۲
منیزیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۳-۱۰	۳-۶
برلیوم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۵-۱۰	۳-۶
سدیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۵-۱۰	۴-۷
روی	۱-۳	۲-۴	۱-۳	۲-۳	۳-۵	۲-۴
منگنز	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۱-۲
قلع	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۱/۵-۲
آهن	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
نیکل	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
سیلیسیم	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۱-۲
مس	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۱-۲
سرب	۰/۵-۲	۱-۲	۱-۲	۱-۲	۱/۵-۲/۵	۱-۲

و - قالب: مواد قالب علاوه بر ورود ناخواسته به داخل مذاب، ممکن است با انجام واکنش های شیمیایی و شیمی - فیزیکی با مذاب موجب آلوده شدن آن و در نتیجه ایجاد مواد و ترکیبات ناخواسته در قطعه ریختگی گردد. به عنوان مثال رطوبت در مواد قالب می تواند به دو صورت شیمیایی و شیمی - فیزیکی با مذاب واکنش کرده و ضایعاتی سطحی یا درونی در قطعه به وجود آورد. این واکنش در مورد مذاب منیزیم، به صورت زیر است:

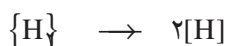


دراثر انجماد، هیدروژن محلول از انحلال خارج می شود و در نتیجه حفره هایی در لایه های سطحی و یا درون قطعه تشکیل می گردد. علاوه بر رطوبت، هر گونه مواد قابل تبخیر در قالب نیز ممکن است بدین صورت عمل نماید. واکنش میان اکسید آهن موجود در مذاب فولاد (چدن) و سیلیس قالب یکی دیگر از این نمونه ها می باشد که مهم ترین عامل ماسه جوش<sup>۱</sup> و هم جوش شدن ماسه به سطح قطعه ریختگی فولادی است.

۱- Burn in

### ۳-۱-۲- انحلال گازها در مذاب

مهمترین گازهای محلول در مذاب عبارتند از:  $\text{SO}_2$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$ ،  $\text{H}_2$ ،  $\text{O}_2$ ،  $\text{N}_2$  و... که در این میان هیدروژن به دلیل داشتن قطر اتمی کوچک، در اکثر فلزات و آلیاژها بیشترین انحلال را دارد. به همین دلیل همواره مورد بحث و بررسی محققین قرار گرفته است. به طور کلی گازها برای انحلال در مذاب باید از حالت مولکولی خارج شوند و به حالت اتمی در آیند. یعنی:



اتمی  $\rightarrow$  مولکولی

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

**الف - درجه‌ی حرارت:** انحلال گازها در فلزات معمولاً با بالا رفتن درجه‌ی حرارت افزایش می‌یابد. جدول ۲-۲ رابطه‌ی انحلال گاز هیدروژن با درجه‌ی حرارت را در فلز آلومینیم نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲- اثر درجه‌ی حرارت بر انحلال هیدروژن در آلومینیم

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

ب – فشار: با افزایش فشار، انحلال گاز در مذاب غالباً بیشتر می‌شود.  
 ج – عناصر آلیازی: عناصر آلیازی اثر متفاوتی بر انحلال گاز در فلزات (حالت جامد و مذاب) دارند. برخی عناصر آلیازی انحلال گاز را افزایش و گروهی دیگر کاهش می‌دهند. جدول ۲-۳ تاثیر عناصر آلیازی را بر انحلال هیدروژن در آلومینیم نشان می‌دهد.

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

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

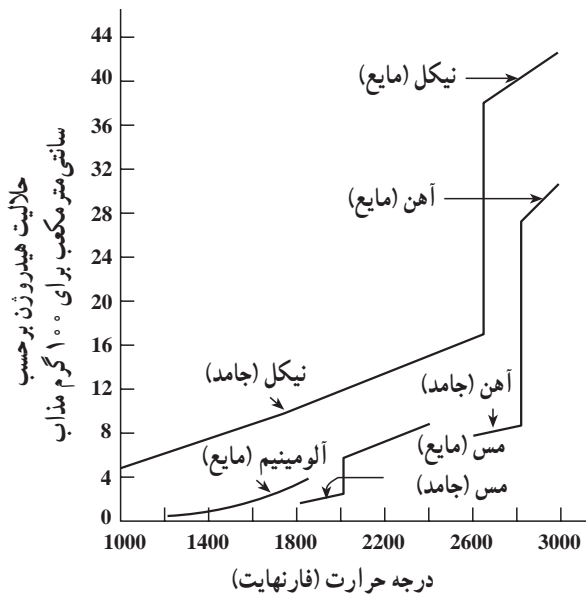
#### ۴-۱-۲- چگونگی ایجاد مک‌های گازی

همان‌گونه که در جدول ۲-۲ مشاهده می‌شود؛ گازها درحالت مذاب نسبت به حالت جامد انحلال بیشتری در فلزات دارند. با کاهش درجه حرارت، گازهای حل شده در مذاب (به صورت اتمی) به تدریج از حالت اتمی در مذاب خارج می‌شوند و به صورت مولکولی (حباب) درمی‌آیند. در این صورت گازهای مولکولی آرام آرام از سطح مذاب خارج می‌شوند. سرعت خروج حباب‌های گازی ایجاد شده به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله گرانیوی مذاب، اندازه‌ی حباب و شکل و عمق پاتیل را می‌توان نام برد. بدیهی است با کاهش درجه‌ی حرارت، گرانیوی مذاب افزایش می‌یابد. در نتیجه سرعت خروج حباب‌های گازی به تدریج کاهش می‌یابد. با شروع انجماد مذاب دو پدیده مهم در تشکیل حباب‌های گازی مؤثرند؛ که به دلیل اهمیت موضوع به طور جداگانه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند:



الف- خروج گازها از حلالیت: در بسیاری از فلزات و آلیاژها اختلاف حلالیت گاز در حالت جامد و مذاب بسیار زیاد است (شکل ۱-۲).

بدیهی است در هنگام انجماد، گازهای زیادی از حالت اتمی (انحلال) به حالت مولکولی تبدیل می‌گردند به گونه‌ای که ناگهان مقدار این تحول به چندین برابر افزایش می‌یابد. به عبارت ساده‌تر در یک فاصله‌ی زمانی کوتاه، مقادیر زیادی از گازهای حل شده به حباب‌های گازی تبدیل می‌شوند.

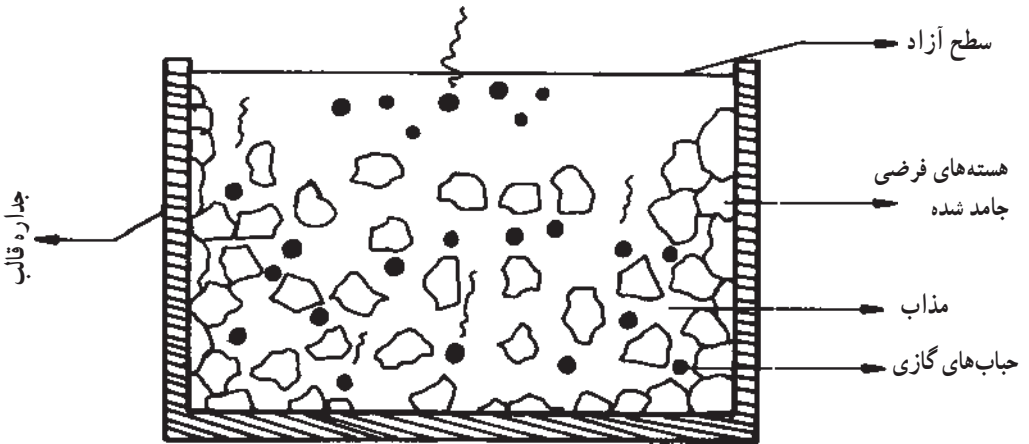


شکل ۱-۲- تأثیر درجه حرارت در حلالیت هیدروژن

ب- محبوس شدن حباب‌ها: اگر فرض شود که حباب‌های گازی ایجاد شده در هنگام انجماد (دامنه انجماد) بتوانند به گونه‌ای از مذاب خارج گردند؛ در این صورت مشکلی به نام مک و تخلخل گازی در قطعات ریختگی وجود نخواهد داشت. اما در عمل به دلیل افزایش گرانشی مذاب و نیز وجود هسته‌های جامد، حرکت حباب‌های گازی به‌طور جدی با مشکل مواجه می‌شوند. به عبارت دیگر حباب‌های گازی در لابلای ذرات جامد محبوس می‌شوند. شکل ۲-۲ به‌طور شماتیک این موضوع را نشان می‌دهد.

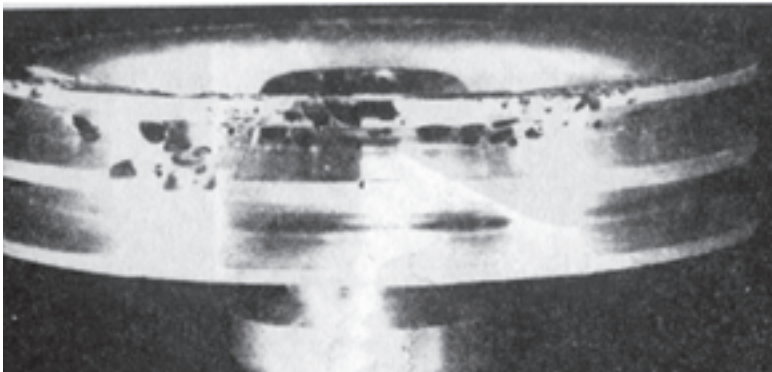
بدیهی است که اولاً حجم زیاد حباب‌های گازی ایجاد شده در یک فاصله‌ی زمانی کم و ثانیاً

موانع ایجاد شده در مسیر خروج این حباب‌ها به عنوان علت اصلی ایجاد مک‌های گازی در قطعات ریختگی تلقی می‌گردد.



شکل ۲-۲- نمای شماتیک از محبوس شدن حباب‌های گازی در لابلای ذرات جامد ایجاد شده

شکل ۲-۳- چگونگی شکل‌گیری مک‌های گازی ناشی از محبوس شدن حباب‌های گازی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳- آلیاژ آلومینیم، قالب ماسه‌ای تر

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

میزان مک‌های ایجاد شده در قطعه‌های ریختگی به عوامل زیادی بستگی دارد که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

**الف - مقدار اختلاف حلالیت گاز در حالت جامد و مذاب:** کاملاً واضح است هرچه این اختلاف بیشتر باشد، مک‌های گازی بیشتری در قطعه‌ها ایجاد می‌شود. به عنوان مثال مقدار مک‌های گازی ناشی از هیدروژن در آلیاژهای آلومینیم به مراتب بیشتر از آلیاژهای مس است.

**ب - نوع انجماد:** مشکل محبوس شدن حباب‌های گازی در آلیاژهای با انجماد خمیری نسبت به آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای<sup>۱</sup> بحرانی تر است. در نتیجه مک‌های گازی بیشتری در قطعه‌های ریختگی ایجاد می‌شود.

**ج - سرعت سرد کردن مذاب:** تأثیر سرعت سرد کردن مذاب بر مقدار مک‌های گازی بدین شرح است:

- در سرعت‌های بسیار کم به دلیل این که حباب‌های گازی ایجاد شده امکان خروج از مذاب را می‌یابند مک‌های گازی کاهش می‌یابد.

البته این میزان سرعت سرد کردن معمولاً غیر عملی است و در شرایط معمول ریخته‌گری حاصل نمی‌شود.

- در سرعت‌های بالا (مانند روش‌های ریژه و آبگرد) گازها به صورت محلول فوق اشباع در مذاب باقی می‌مانند و از خروج آن‌ها از حلالیت ممانعت می‌شود. در نتیجه باعث کاهش مک‌های گازی در قطعه‌های ریختگی می‌شود.

**د - آخال‌ها (ناخالصی‌ها):** وجود اکسیدها و دیگر ناخالصی‌ها (آخال‌ها) در مذاب باعث افزایش مک‌های گازی در قطعه‌های ریختگی می‌شود. معمولاً در اطراف آخال‌ها، ریز مک‌های گازی زیادی مشاهده می‌شود.

در تشکیل حباب‌های گازی حضور مقدار کمی آخال و سرباره در مذاب، بسیار مؤثر می‌باشد. به طور کلی تولید قطعات سالم عاری از مک منوط به حذف آخال‌ها می‌باشد.

**ه - عناصر آلیاژی:** عناصر آلیاژی علاوه بر این که در میزان حلالیت گاز در مذاب تأثیر دارد، می‌توانند در مقدار مک‌های گازی نیز اثر بگذارد. از طرف دیگر میزان تخلخل با افزایش دامنه‌ی

۱- در مورد انجماد خمیری و پوسته‌ای در فصل چهارم بحث شده است.

انجماد افزایش می‌یابد.

و — سیستم راهگاهی: سیستم راهگاهی صحیح در کاهش مقدار مک‌های گازی نقش مهمی ایفا می‌کند. به عبارت دیگر طراحی غلط سیستم راهگاهی باعث حبس هوا و در نتیجه ایجاد مک‌های درشت می‌شود.

ز — شکل، اندازه و وزن قطعه: مقدار مک و تخلخل در قطعه‌های بزرگ و پیچیده نسبت به قطعه‌های ساده و کوچک بیشتر است.

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

امروزه به دلیل تأثیر زیادی که وجود مک‌های گازی در کیفیت قطعه‌های ریخته‌گری دارند، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری گاز در مذاب وجود دارد. بعضی از این روش‌ها به این قرار است:

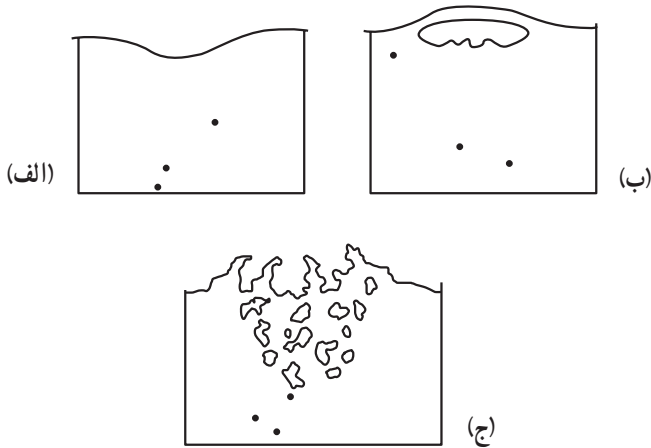
— رادیوگرافی قطعات ریخته‌گری شده با اشعه‌ی ایکس<sup>۱</sup>: این روش به طور گسترده در صنایع برای کنترل کیفی غیر مخرب قطعه‌های ریخته‌گری به کار می‌رود. در این روش مک‌های ریز که ناشی از گاز یا انقباض پراکنده می‌باشد، در روی فیلم عکاسی به وسیله اشعه‌ی X به صورت نقاط تیره دیده می‌شود.

— مشاهده‌ی سطح نمونه قطعه‌ی ریخته‌شده: این روش که بسیار عملی و کاربردی می‌باشد در کارخانجات ریخته‌گری بویژه ریخته‌گری آلومینیم مورد استفاده زیادی دارد. برای این آزمایش قالب‌های استوانه‌ای از ماسه خشک به قطر ۷/۵ تا ۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۷/۵ تا ۹ سانتی‌متر تهیه می‌شود.

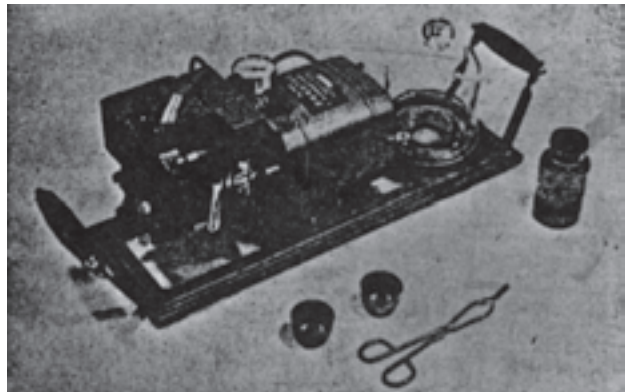
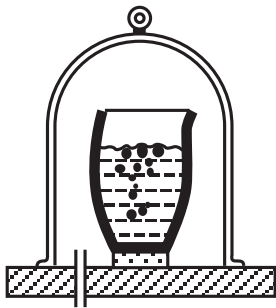
هنگامی که مذاب آماده‌ی بارریزی می‌شود به منظور مشخص شدن وجود یا عدم وجود گاز در مذاب، مقداری از آن، در قالب‌های استوانه‌ای تهیه شده، ریخته می‌شود. با مشاهده‌ی سطح نمونه منجمد شده، می‌توان به وجود گاز در مذاب پی برد. شکل ۴-۲ به‌طور شماتیک سطح نمونه را در این آزمایش نشان می‌دهد. در صورتی که سطح نمونه مانند شکل الف-۴-۲ فرو رفته و نیز صاف و براق باشد نشانگر عدم وجود گاز در مذاب است. اگر سطح نمونه مانند شکل ب-۴-۲ بدون فرورفتگی باشد در این حالت مقداری گاز در مذاب موجود است. بالاخره چنان‌چه سطح نمونه مانند شکل ج-۴-۲ برآمده (پف کرده) و خشن باشد، در این حالت مقدار زیادی گاز در مذاب وجود دارد.

— انجماد نمونه تحت شرایط خلأ: در این روش مقادیر کمی مذاب (معمولاً چند صد گرم) تحت شرایط خلأ نسبی منجمد می‌شود. حباب‌های شکسته شده در سطح نمونه و تعداد و اندازه‌ی

مک‌ها در نمونه‌ی منجمد شده، مشخص‌کننده مقدار تقریبی گاز موجود در مذاب می‌باشد. شکل ۲-۵ دستگاه اندازه‌گیری گاز تحت شرایط خلأ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴- شماتیک نمونه‌های استوانه‌ای برای آزمایش وجود گاز



شکل ۲-۵- اندازه‌گیری گاز تحت شرایط خلأ

— آزمایش وزن مخصوص: با یک آزمایش ساده به کمک وزن مخصوص می‌توان به طور کیفی به وجود گاز در فلز پی برد. در این روش وزن مخصوص نمونه با وزن مخصوص واقعی آلیاژ مقایسه می‌شود. درعین حال می‌توان با کمک رابطه‌ی تقریبی ساده مقدار تخلخل را محاسبه کرد.

$$\%V = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} \times 100 \quad (2-1)$$

که در این رابطه :

$\rho_0$  : وزن مخصوص آلیاژ سالم

$\rho$  : وزن مخصوص نمونه

$V$  : درصد تخلخل

— روش آلتراسونیک<sup>۱</sup>: استفاده از امواج صوت برای تعیین عیوب داخلی فلزات یک روش بسیار قدیمی می باشد بدین صورت که اگر به یک قطعه فلز با چکش ضربه وارد شود امواج صوتی مشخصی در فلز ایجاد می گردد که شدت آن در اثر وجود عیوب داخلی تحت تأثیر قرار می گیرد با این روش عیوب بزرگ را می توان مشخص نمود.

روش جدیدتر استفاده از امواج ماوراء صوت با فرکانس ۱ تا ۵ میلیون هرتز می باشد که آلتراسونیک نام دارد. آلتراسونیک یک روش تست غیرمخرب سریع و قابل اعتماد است که برای شناسایی و تعیین اندازه عیوب داخلی فلزات به کار می رود که این روش بیش تر در صنعت مورد استفاده می باشد.

## ۷-۱-۲- روش های جلوگیری از مک های گازی

کاملاً واضح است که تولید قطعات عاری از مک، در درجه اول مستلزم پیش گیری از ورود گاز به داخل مذاب و همچنین جلوگیری از ایجاد مک های گازی در قطعات می باشد، برای پیش گیری روش های مختلفی وجود دارد که این روش ها عبارتند از :

- ۱- استفاده از مواد شارژ و کمک ذوب تمیز و عاری از رطوبت
- ۲- کنترل احتراق به جهت ممانعت از احتراق ناقص و افزایش گازهایی نظیر  $H_2$ ،  $CO$ ،  $CO_2$ ،  $H_2O$  و  $SO_2$  در اتمسفر کوره ذوب.
- ۳- ممانعت از طولانی شدن زمان ذوب و ننگه داری مذاب برای جلوگیری از تماس زیاد گاز با مذاب.

۴- کاهش سطح مذاب : میزان حل شدن گاز رابطه مستقیم با سطح مذاب دارد یعنی هرچه سطح تماس مذاب با اتمسفر کم تر باشد مقدار حل شدن گازها کم تر خواهد شد.

۵- استفاده از مواد پوششی در سرباره به منظور جلوگیری از تماس مذاب با محیط اطراف.

۶- کنترل درجه ی حرارت مذاب به منظور جلوگیری از افزایش حلالیت گاز در مذاب.

۷- جلوگیری از تلاطم مذاب برای ممانعت از محبوس شدن گاز در حین بارریزی.

۸- طراحی سیستم‌های راهگامی مطلوب برای هدایت گازهای موجود در مذاب به محل مناسب.

## ۸-۱-۲- روش‌های گاززدایی

— روش‌های گاززدایی با استفاده از کاهش فشار خارجی: با توجه به رابطه فشار خارجی با قابلیت انحلال گاز در مذاب (قانون سیورت)، با کاهش فشار خارجی امکان تشکیل حباب‌های گازی در فشارهای کم‌تر به وجود می‌آید. به عبارت دیگر با کاهش فشار خارجی سرعت خارج شدن گازها از حلالیت و تبدیل به حباب‌های گازی (تبدیل از حالت اتمی به مولکولی) افزایش می‌یابد. مکانیزم روش گاززدایی تحت شرایط خلأ براساس موارد فوق می‌باشد. اگر مذاب تحت شرایط خلأ قرار گیرد هیدروژن به شکل مولکولی آزاد می‌گردد. در این صورت گاز به شکل حباب‌های فرار درمی‌آید و به سطح مذاب صعود می‌کند. سرعت خروج هیدروژن به درجه‌ی خلأ بستگی دارد.

در حال حاضر روش گاززدایی در خلأ برای تولید قطعه‌هایی با کیفیت بالا و با تکنولوژی‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به طور کلی این روش برای گاززدایی آلیاژهای با نقطه ذوب پایین کاربرد بیشتری دارد. (برای آلیاژهای با نقطه‌ی ذوب بالا این تجهیزات بسیار گران می‌باشد) همچنین در مورد آلیاژهایی که فشار بخار آنها بالاست به دلیل تلفات زیاد مذاب، این روش به کار نمی‌رود. محدودیت‌های دیگر این روش، طولانی شدن زمان گاززدایی و کاهش درجه حرارت مذاب می‌باشد.

— روش‌های گاززدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب: تأثیر افزایش فشار درونی مذاب به قرار زیر است:

الف- تسهیل در خارج شدن گاز از حالت انحلال (اتمی به مولکولی)

ب- جذب حباب‌های گازی ایجاد شده به وسیله‌ی گازهای تزریق شده به داخل مذاب.

ج- افزایش سرعت خارج شدن گازها از مذاب.

روش افزایش فشار درونی مذاب از مهمترین و یرمصرف‌ترین روش‌های گاززدایی می‌باشد که خود به چندین روش مختلف اصلی تقسیم می‌گردد:

الف- استفاده از گازهای بی اثر: در این روش گازهای بی اثر به شکل حباب‌های هوا از پایین بوته یا پاتیل به داخل مذاب تزریق می‌شوند. در ابتدا فشار جزئی گازهای محلول (مانند H) در داخل حباب گاز بی اثر صفر است ولی در مسیر حرکت مقداری گاز را به داخل خود جذب می‌کند.

این فرآیند با تولید حباب‌های زیاد ادامه پیدا می‌کند و به تدریج مقدار گاز محلول در مذاب کم می‌شود. باید توجه نمود که از نظر عملی غیرممکن است بتوان تمام گازها را از مذاب خارج نمود. گازهای بی‌اثر نسبت به مذاب عموماً گازهایی نظیر آرگن و هلیوم هستند که برای تمامی فلزات و آلیاژها بی‌اثر می‌باشند. به دلیل گرانی این گازها معمولاً می‌توان از گازهای ارزان‌تر که نسبت به مذاب خاصی بی‌اثر هستند استفاده کرد. به عنوان مثال گاز نیتروژن در شرایط کلی برای آلومینیم و اکثر آلیاژهای آن بی‌اثر محسوب می‌شود. درحالی‌که این گاز برای چدن نه تنها بی‌اثر نیست بلکه به‌عنوان یک گاز محلول در مذاب می‌باشد که باید آن را از مذاب خارج نمود. جدول ۴-۲ مهمترین گاززدها را برای آلیاژهای مختلف نشان می‌دهد.

به‌طور خلاصه ازت برای آلومینیم و آلیاژهای آن، گاز بی‌اثر است. اگرچه برای برخی آلیاژهای آلومینیم بی‌اثر محسوب نمی‌شود.

برای مس و آلیاژهای آن، گازهای ازت و گاز کربنیک به کار می‌رود. برای فولادها گاز کربنیک و اکسید کربن به کار می‌رود.

مهم‌ترین عواملی که در افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گازها مؤثر است، عبارتند از:

۱- حباب‌های گازی دمیده شده به داخل مذاب باید حتی‌الامکان کوچک باشند؛ زیرا حباب‌های درشت با سرعت بیشتری به طرف سطح مذاب حرکت می‌کنند. در نتیجه زمان تماس با مذاب و گازهای محلول در آن به حداقل می‌رسد. و برعکس، هرچه حباب‌ها ریزتر باشند با سرعت کمتری به سطح مذاب می‌رسند و تماس بیشتری با گازهای محلول در مذاب داشته و امکان جذب و خارج نمودن گازهای بیشتری را از مذاب دارند.

۲- پخش یکنواخت؛ با پخش یکنواخت حباب‌ها در درون مذاب، امکان تماس حباب‌ها با گازها از نزدیک وجود دارد و در نتیجه راندمان و سرعت گاززدایی بهبود می‌یابد.

۳- عمق حمام مذاب؛ یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر بازدهی گاززدایی، عمق حمام مذاب است. گاز باید در پایین‌ترین قسمت ظرف (بوتله یا پاتیل) وارد شود. هرچه عمق ظرف بیشتر باشد مدت زمان تماس حباب با مذاب بیشتر است و بازدهی افزایش می‌یابد.

۴- عدم رطوبت در گاز؛ گاز بی‌اثر باید حاوی حداقل رطوبت باشد.



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
آلومینیم	H <sub>۲</sub>	انحلالی (Al) [H]	گاززدایی	ازت، کلر، مخلوط ۳۰-۷۰ و یا ۱۰-۹۰ ازت و کلر مواد قابل تبخیر نظیر C <sub>۲</sub> Cl <sub>۶</sub> ، CCl <sub>۴</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 (Fe) [H]	گاززدایی	گاز CO در ضمن تصفیه مقدار هیدروژن را کاهش می‌دهد.
	O <sub>۲</sub>	انحلالی (Fe) [O] ترکیبی انواع اکسیدها	اکسیژن زدایی فلاکس زنی	منیزیم، آلومینیم، تیتانیم، سیلیسیم و آلیاژهای آنها استفاده از فلاکس‌های حاوی کلسیم و سدیم عموماً براساس ترکیبات کربناتی و کاربیدی
	S	انحلالی (Fe) [S]	گوگردزدایی	مواد حاوی منیزیم، منگنز، کلسیم، کاربید کلسیم
	N <sub>۲</sub>	انحلالی (Fe) [N] ترکیبی نیترورها	گاززدایی	نظیر هیدروژن در آهن Al، Ti نیز می‌توانند نیترورها را خارج سازند، فلاکس‌های کلسیم و منیزیم
مس	H <sub>۲</sub>	انحلالی (Cu) [H]	گاززدایی	ازت، گاز کربنیک و مواد قابل تبخیر، و در بسیاری موارد اکسیژن زدایی کافی است.
	O <sub>۲</sub>	انحلالی (Cu) [O] ترکیبی Cu <sub>۲</sub> O	اکسیژن زدایی فلاکس زنی	فسفر، کربن، لیتیم، کلسیم فلاکس‌های حاوی سیلیس، براکس و ...
	S	انحلالی (Cu) [S] ترکیبی Cu <sub>۲</sub> S	فلاکس زنی فلاکس زنی	کنترل در مواد شارژ فلاکس‌های حاوی سیلیسیم، براکس و بُر
منیزیم	H <sub>۲</sub>	انحلالی (Mg) [H]	گاززدایی	مانند آلومینیم از 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، کلرور منیزیم، اسیدبوریک فلوربات آمونیم، ترکیبات حاوی گوگرد نظیر فوق

ب - استفاده از گازهای فعال: در برخی موارد ممکن است برای گاززدایی، به جای گازهای خنثی، از گازهای فعال استفاده نمود. این گازها معمولاً هنگامی که وارد مذاب می‌شوند با آن ترکیب می‌گردند. حاصل این واکنش، به وجود آمدن یک گاز جدید است. این گاز نسبت به مذاب خنثی است و همانند گازهای خنثی عمل می‌کند. به عنوان مثال، کُلر یکی از گازهای فعال در ارتباط با آلومینیم می‌باشد. این گاز هنگامی که وارد مذاب می‌شود واکنش ۲-۲ را با آلومینیم مذاب ایجاد می‌کند.



کلرید آلومینیم ( $AlCl_3$ ) در درجه حرارت محیط، به صورت جامد است ولی در درجه‌ی حرارت مذاب آلومینیم، شکل گازی دارد.

گاز کلرید آلومینیم، همانند گازهای خنثی و با همان مکانیزم گاززدایی عمل می‌کند. در بسیاری موارد ممکن است به جای استفاده‌ی مستقیم از گازهای فعال ترکیبات آن‌ها را به کار برد.

این ترکیبات، معمولاً به صورت جامد یا مایع می‌باشند و هنگامی که وارد مذاب می‌شوند تجزیه می‌گردند و گازهای لازم را برای گاززدایی فراهم می‌آورند. مانند هگزا کلروراتان، تتراکلرورکربن و نمک‌های کلر.

## ۲-۲- آخال<sup>۱</sup> و آخال زدایی

آخال به کلیه ناخالصی‌های ترکیبی فلزی و غیرفلزی گفته می‌شود که در فلز مذاب به وجود می‌آیند. آخال‌ها، شامل مجموعه اکسیدهای ساده، سولفیدها، نیتريد‌ها، کلرورها و... یا ترکیبات مختلف آن‌ها هستند. آخال، روی خواص مکانیکی، متالورژیکی، فیزیکی و ریخته‌گری فلزات تأثیر مهمی دارد.

### ۲-۲-۱- انواع آخال‌ها

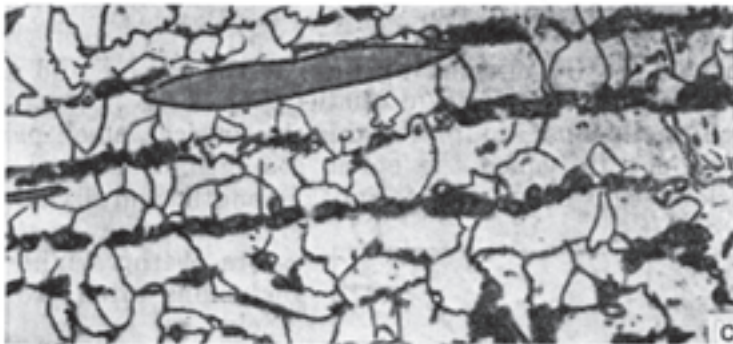
در یک تقسیم‌بندی، اصولاً دو گروه آخال وجود دارد:

الف - آخال‌هایی که در نتیجه‌ی عوامل خارجی موجود به وجود آمده و وارد مذاب می‌شوند. مانند: سرباره‌ها، ذرات مواد قالب، مواد نسوز و... در بیشتر حالات، این آخال‌ها ماکروسکوپی هستند و با چشم غیر مسلح قابل رؤیت می‌باشند (شکل ۲-۶). این نوع آخال، هم در سطح و هم در مقطع شکست قطعه‌ها مشاهده شده است.



شکل ۲-۶- نمونه از قطعه‌ای با عیوب آخال و مک‌های میکروسکوپی

ب- آخال‌هایی که در اثر واکنش‌های شیمیایی در داخل مذاب به وجود می‌آیند: این آخال‌ها شامل سولفیدها، نیتريد‌ها، یا اکسیدها، کلورورها و غیره می‌باشند. این نوع آخال‌ها عموماً بسیار کوچک هستند و با میکروسکوپ قابل مشاهده و بررسی می‌باشند. آن‌ها معمولاً به طور یکنواخت در ساختار میکروسکوپی قطعه‌ها پراکنده می‌باشند. شکل ۲-۷- پخش آخال‌ها را در مرز دانه‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷- آخال‌های سولفیدی در فولاد ۰/۲۵٪ کربن اچ شده در محلول نیتال ۲۰٪ بزرگنمایی ۵۰۰

## ۲-۲-۲- اکسیداسیون و اکسیدها

به طور کلی، هیچ فلز یا آلیاژ صنعتی در برابر گازهای اکسیدکننده، به ویژه اکسیژن، مقاوم نیست. از این رو، از اکسیدها عموماً به عنوان مهم ترین آخال در کلیه آلیاژهای صنعتی نام برده می شود. واکنش پذیری عناصر مختلف با اکسیژن متفاوت است. از عوامل مهم دیگر در اکسیداسیون، سرعت اکسید شدن می باشد که بستگی به نحوه تشکیل قشر اکسید دارد.

در یک مقایسه ی ساده بین آهن و آلومینیم، می توان ملاحظه کرد که آلومینیم اگرچه میل ترکیب شدیدتری با اکسیژن دارد اما به دلیل ایجاد قشر اکسید غیرمتخلخل در سطح، از نفوذ اکسیژن به قسمت های داخلی جلوگیری می کند و در نتیجه اکسیداسیون متوقف یا کاهش می یابد. در حالی که در مورد آهن، علی رغم این که میل ترکیب کمتری با اکسیژن دارد به دلیل تخلخل زیاد در قشر اکسید شده، به سرعت قسمت های داخلی نیز اکسید می شوند.

اکسیدهای حاصل از اکسیداسیون، معمولاً ساده یا ترکیبی از چند اکسید می باشند. اکسیدها به صورت ذرات جامد و غیر محلول در مذاب می باشند. احتمال محلول شدن اکسیژن یا اکسید فلز در مذاب بسیار کم است. معمولاً ترکیب حاصل از اکسید فلز به صورت ذرات جامد شناور در مذاب می باشد که در صورت خارج نشدن از مذاب، به صورت آخال در قطعه باقی می ماند.

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

— مواد شارژ (بار): یکی از مهمترین منابع ایجاد آخال های مختلف مواد شارژ می باشد. وجود مواد اکسید شده، رطوبت و... در مواد شارژ از موارد مهم در ایجاد آخال است.

— اندازه ی مواد شارژ (بار): مواد بار ریز و سطح اکسایش زیاد در افزایش آخال ها مؤثر است. براده های برگشتی از عملیات ماشین کاری موجب افزایش اکسیدها در قطعه ها می شوند.

— ترتیب باردهی: نحوه و ترتیب افزودن مواد مختلف به کوره در مقدار آخال مؤثر است. معمولاً موادی که میزان اکسیداسیون زیادتری دارند، در صورت امکان از همان ابتدا شارژ نمی شوند.

— هم زدن و آشفته ساختن مذاب: در برخی موارد هم زدن مذاب به منظور دستیابی به آلیاژهای همگن و مناسب ضروری است. در مورد آلیاژهایی مانند آلیاژهای آلومینیم به هم زدن مذاب، باعث به هم خوردن قشر اکسید سطح می شود و مقدار آخال در مذاب را افزایش می دهد.

— محیط اطراف کوره: محیط اطراف کوره می تواند اکسیدی، خنثی یا احیایی باشد که انتخاب هر کدام از آن ها در مقدار آخال تأثیر می گذارد.

— درجه حرارت ذوب: با افزایش درجه‌ی حرارت فوق ذوب، مقدار آخال‌ها عموماً افزایش می‌یابد.

— زمان نگهداری مذاب: زمان نگهداری مذاب نیز تأثیری همانند درجه حرارت دارد.  
— نوع کوره: کوره‌هایی که سوخت و یا محصول احتراق در آن‌ها با مذاب در تماس هستند، مقدار آخال بیشتری در مذاب ایجاد می‌کنند. از طرف دیگر، جلوگیری از خراب شدن کوره و وارد شدن ذرات بوته و آجرنسوز به داخل مذاب ضروری است.

— وسایل و تجهیزات در ذوب: استفاده از ابزارهای تمیز و پوشش داده شده در کاهش مقدار آخال مؤثر است. به عنوان مثال، در ذوب آلومینیم استفاده از وسایل آهنی بدون پوشش موجب خورده شدن آهن توسط آلومینیم می‌شود و آخال‌های میکروسکوپی ایجاد می‌کند.

— بارریزی: نحوه‌ی بارریزی به جهت تماس با محیط اطراف، در مقدار آخال تأثیر دارد.

— قالب: استفاده از مواد قالب و پوشش مناسب و نیز خشک کردن آن، در کاهش مقدار آخال تأثیر زیادی دارد.

از طرف دیگر افزایش استحکام قالب و نیز تمیز کردن آن، از ورود ذرات ماسه به داخل قالب جلوگیری می‌کند.

— سیستم راهگاهی: اجتناب از ایجاد گوشه‌های تیز برای کاهش آخال ضروری می‌باشد.  
از طرف دیگر، سیستم راهگاهی باید به گونه‌ای طراحی شود تا ذرات با منشأ خارجی در داخل حوضچه پای راهگاه و یا کانال مُتد گیر کرده، وارد محفظه‌ی قالب نشود. درحقیقت یکی از وظایف مهم سیستم راهگاهی، جلوگیری از ورود آخال‌ها به داخل مذاب می‌باشد.

— درجه حرارت بارریزی: افزایش درجه حرارت بارریزی، امکان انجام واکنش مذاب را با مواد نسوز و مواد قالب، بیشتر فراهم می‌آورد.

#### ۴-۲-۲- آخال‌زدایی

بنا به تعریف، آخال‌زدایی به مجموعه‌ی عملیاتی گفته می‌شود که به منظور جلوگیری و حذف یا کاهش اثرات نامطلوب آخال‌ها (ذرات اکسیدی، نیتروژن، کربورها و...) به کار می‌رود.

برای آخال‌زدایی از فلاکس<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. فلاکس‌ها ترکیبات متنوع و متعددی هستند که برای جلوگیری از اکسیدشدن، یا برای احیاکردن و یا به منظور جداکردن آخال‌ها از مذاب استفاده می‌شوند. فلاکس‌های مهم که معمولاً برای آخال‌زدایی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

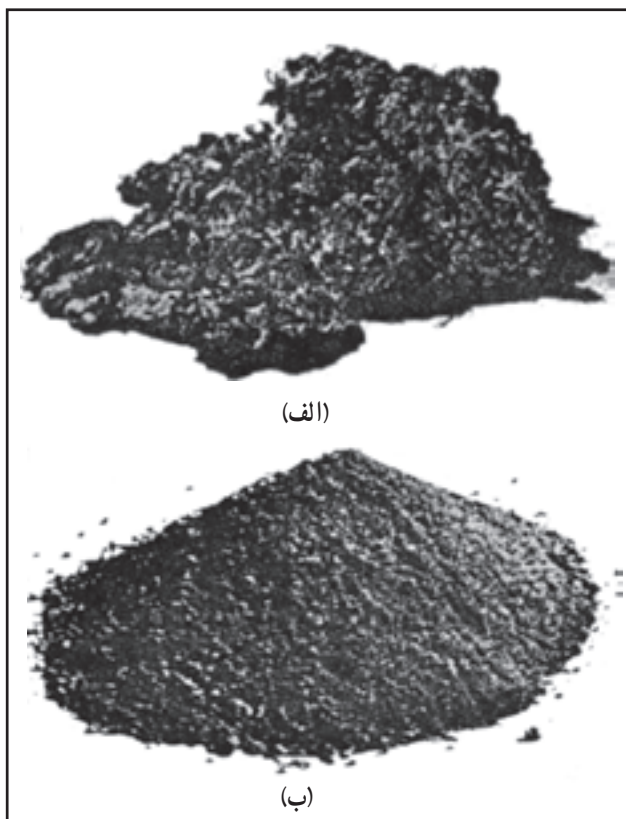
۱- Flaxes

۱- فلاکس‌های پوششی<sup>۱</sup>: این فلاکس‌ها به منظور به وجود آوردن سدّی در برابر نفوذ اکسیژن به داخل مذاب طراحی شده‌اند. این فلاکس‌ها عموماً ممکن است به صورت جامد و خشک و یا به صورت مذاب در سطح فلز مذاب ظاهر گردند. بعضی از فلاکس‌های پوششی می‌تواند در ایجاد سرباره‌ی مناسب مؤثر باشد. عموماً سرباره به دلیل آغشتگی که به مذاب دارد، به راحتی از مذاب جدا نمی‌شود و در هنگام سرباره‌گیری، مقدار زیادی مواد مذاب را همراه خود خارج می‌کند. با استفاده از نوعی فلاکس، قابلیت آغشتگی سرباره با مذاب کاهش می‌یابد و به راحتی از آن جدا می‌شود و بدین

ترتیب از تلفات مذاب کاسته می‌شود.

شکل ۸-۲ الف نوعی سرباره قبل از عمل کرد فلاکس و شکل ۸-۲ ب بعد از عمل کرد فلاکس را نشان می‌دهد.

آزمایشات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از فلاکس‌های پوششی، مقدار تلفات مذاب را تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد و به همین نسبت از میزان آخال‌های موجود در مذاب می‌کاهد. فلاکس‌های پوششی برای تمیز کردن مذاب کاربرد زیادی ندارند.



شکل ۸-۲- عکس سرباره‌ی آلومینیم (الف) قبل از فلاکس زنی (ب) بعد از فلاکس زنی

۲- فلاکس‌های تمیزکننده<sup>۲</sup>: فلاکس‌های تمیزکننده به منظور جداسازی ذرات آخال معلق و خارج کردن آن‌ها از مذاب به کار می‌روند و مهم‌ترین وظایف آنها عبارتند از:

۱- Cover Flaxes

۲- Cleaning Flaxes

**الف – کاهش وزن مخصوص:** به منظور سرعت بخشیدن به خروج آخال‌ها، استفاده از فلاکس‌هایی که بتواند وزن مخصوص آخال را کاهش دهد می‌تواند بسیار مؤثر باشد. آخال در مذاب به سه حالت می‌تواند وجود داشته باشد:

- به سرباره بیاید.
- در مذاب، به صورت شناور باقی بماند.
- به صورت لجن در کف بوته (کوره) ته نشین شود.

در جدول ۵-۲، وزن مخصوص چند ترکیب در مقایسه با فلز مذاب آمده است.

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

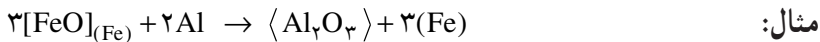
فلزات	وزن مخصوص در حالت مایع g/cm <sup>۳</sup>	ترکیبات	وزن مخصوص ترکیبات g/cm <sup>۳</sup>
Cu	۸/۲۲	CuCl <sub>۲</sub>	۳/۰۵
		CuO	۵/۶
Al	۲/۳	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۴
		AlCl <sub>۳</sub>	۱/۵۲
		سرباره‌های اکسیدی	۱/۸
Fe	۶/۹	FeO	
		Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	
		Fe <sub>۲</sub> O <sub>۴</sub>	۵/۱
		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: آغشتگی آخال به مذاب، موجب کاهش سرعت خروج آخال از مذاب می‌شود. بنابراین استفاده از فلاکس‌هایی که بتواند این آغشتگی را کاهش دهد، موجب تسهیل در خروج آخال از مذاب می‌شود. بعضی از فلاکس‌ها می‌توانند در فصل مشترک مذاب و آخال لایه‌ای از فیلم نازک ایجاد نمایند و در نتیجه آغشتگی آخال به مذاب را کاهش دهند. استفاده از برخی گازها (مانند آن‌چه در مورد گاززدایی گفته شد) می‌تواند یک لایه نازک هوا بین آخال و مذاب ایجاد کند که علاوه بر کاهش وزن مخصوص، آغشتگی به مذاب را نیز، کاهش می‌دهد.

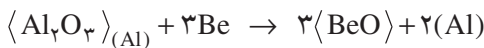
ج — افزایش نقطه‌گداز: برخی از آخال‌ها در شرایط ذوب به صورت مذاب هستند لذا جدا کردن آن‌ها از مذاب با تلف شدن مذاب همراه است. در این حالت از موادی که بتواند با افزایش نقطه‌ی ذوب، آخال سرباره‌گیری را آسان کند استفاده می‌شود.

### ۵-۲-۲ — روش‌های ترکیبی آخال زدایی

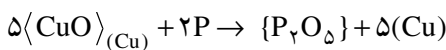
در این روش حذف آخال با عناصری صورت می‌گیرد که نسبت به فلز مذاب، میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن، نیتروژن و... دارند. از اکسیژن‌زدایی، می‌توان به عنوان مهمترین فرآیند در این روش نام برد.



که در آن مذاب آهن با آلومینیم اکسیژن‌زدایی می‌شود.



که در آن مذاب آلومینیم با برلیم اکسیژن‌زدایی می‌شود.



که در آن مذاب مس با فسفر اکسیژن‌زدایی می‌شود.

مهم‌ترین شرایط برای اکسیژن‌زدایی عبارتند از:

۱- عنصر اضافه شده برای اکسیژن‌زدایی باید میل ترکیب زیادتری با اکسیژن نسبت به مذاب داشته باشد.

۲- عنصر اضافه شده، نباید خود باعث به هم خوردن ترکیب شیمیایی مذاب شود و از طرف دیگر نباید ایجاد آخال در مذاب نماید.

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

۴- قابلیت آغشتگی به مذاب نداشته باشد تا بتواند به راحتی از مذاب خارج شود.

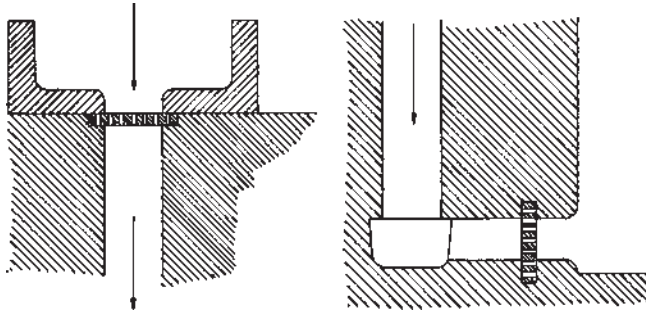
۵- از جهت عملی اضافه نمودن آن به مذاب مشکل نباشد.



## ۲-۲-۶- عملیات فیلتر کردن مذاب

حذف کامل آخال‌ها، به وسیله‌ی عملیات آخال زدایی مشکل می‌باشد. لذا برای آلیاژهایی که وجود حتی مقدار جزئی آخال‌های ریز میکروسکوپی باعث کاهش خواص قطعه‌ها می‌شود و به منظور تولید قطعه‌ها با کیفیت بالا از عملیات فیلتر کردن مذاب استفاده می‌شود. عملیات فیلتر کردن می‌تواند در پاتیل و یا حتی سیستم راهگاهی انجام شود. در این عملیات مذاب از داخل فیلترهای خاصی عبور می‌کند و در نتیجه آخال‌های ریز و درشت در لابلای ذرات فیلتر گیر می‌کنند و مذاب صاف و عاری از آخال به دست می‌آید.

شکل ۲-۹ روش‌های فیلتر کردن را برای آلومینیم نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹- شماتیک روش‌های فیلتر کردن برای آلومینیم در سیستم راهگاهی

## ۲-۳- تلقیح (جوانه‌زایی و ...)

اضافه کردن بعضی از عناصر به مذاب در مقادیر جزئی می‌تواند موجب بهبود خواص ریخته‌گری، مکانیکی و فیزیکی قطعات ریختگی گردد. این عناصر در آخرین لحظات تهیه مذاب و معمولاً قبل از ریختن فلز مذاب به داخل قالب اضافه می‌شوند.

اضافه کردن این عناصر به مقدار جزئی به آلیاژهای آلومینیم - منیزیم موجب ریزش دانه‌ها گشته و همچنین در چدن‌های خاکستری باعث کمک به ایجاد گرافیت آزاد می‌گردد.

برای مثال اضافه کردن کم‌تر از ۰/۲ درصد تیتانیم یا ۰/۲ درصد بُر به آلومینیم می‌تواند اندازه دانه‌های آلومینیم و آلیاژهای آن را از ۲/۵ میلی‌متر به ۰/۱ میلی‌متر تقلیل دهد. همچنین اضافه کردن حدود ۰/۲ درصد سدیم و یا ۰/۳ درصد استرانسیم در آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم می‌تواند

اندازه را صدها بار ریزتر نماید.

در مورد چدن‌ها اضافه کردن مقدار کمی سیلیسیم به مذاب می‌تواند به ایجاد گرافیت آزاد در چدن کمک کرده و به خصوص در قطعات با جداره‌های نازک مانع از سفیدشدن چدن در این ضخامت‌ها گردد.

هم‌چنین اضافه کردن مقدار جزئی منیزیم (حدود ۰/۰۵ درصد) به مذابی با ترکیب شیمیایی چدن خاکستری می‌توان گرافیت‌های ورقه‌ای را به صورت کروی درآورده و از این طریق مشخصات مکانیکی به مقدار شگفت‌آوری اصلاح گردد.

عمل جوانه‌زایی هم یکی از موارد تلقیح می‌باشد، در این عملیات معمولاً مواد تلقیح (جوانه‌زا) متناسب با نوع آلیاژ از ترکیبات مختلف انتخاب می‌شوند. مواد جوانه‌زا باید دارای شرایطی به شرح ذیل باشند:

— **دیرگدازی:** نقطه‌ی ذوب جوانه‌زا باید بالاتر از درجه‌ی حرارت مذاب باشد تا در شرایط معمولی در فلز مذاب ذوب نشود.

— **قابلیت آغشتگی به مذاب:** مواد جوانه‌زا باید قابلیت آغشتگی به مذاب را داشته باشد تا بتواند به عنوان هسته عمل نماید.

— **ساختار کریستالی:** ساختار کریستالی مواد جوانه‌زا باید به ساختار فلز مذاب نزدیک باشد. جدول ۶-۲ مواد جوانه‌زای اصلی را برای آلیاژهای مختلف نشان می‌دهد. پس از مشخص شدن شرایط مواد جوانه‌زا، در اینجا لازم است به نکاتی که باید در مورد عملیات جوانه‌زایی به آن توجه نمود، اشاره شود.

۱— **زمان جوانه‌زایی:** از نکات عملی مهم در جوانه‌زایی، انتخاب زمان مناسب برای جوانه‌زایی است. به عنوان مثال، در صورتی که جوانه‌زایی قبل از عملیات گاززدایی و آخال‌زدایی انجام شود، در این صورت، عملیات فوق باعث حذف جوانه‌زاها می‌شود. معمولاً جوانه‌زاها را در آخرین مرحله به مذاب اضافه می‌کنند و حتی در برخی موارد در سیستم راهگاهی به مذاب اضافه می‌شوند.

۲— **درجه حرارت و زمان (میرایی):** درجه‌ی حرارت و زمان، عواملی اساسی در بازدهی جوانه‌زایی محسوب می‌گردد. در صورتی که درجه حرارت، بالا و یا زمان نگهداری مذاب پس از جوانه‌زایی طولانی باشد راندمان جوانه‌زایی به شدت کاهش می‌یابد؛ چرا که در این حالت تعدادی از مواد جوانه‌زا در مذاب حل می‌شود.

جدول ۶-۲- 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 <sub>۷-۱۰</sub> Al	Mg $\alpha$	C <sub>۴</sub> Cl <sub>۶</sub> ۰/۰۵ FeCl <sub>۳</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 <sub>۴-۵</sub> Zn	Mg $\alpha$	Zr ۰/۰۷	مانند فوق	هسته‌های Zr و یا MgZr
۴Cu Al(Mg) Zn	Al $\alpha$	Ti ۰/۰۵-۰/۱ B ۰/۰۰۵-۰/۰۰۱	تقلیل تا ۰/۱ میلی‌متر	TiC - AlB - TiB <sub>۲</sub> و خاصیت محدود کردن رشد توسط B.Ti
Al ۵-۱۲Si Al ۱۶-۲۰Si	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 AlP
Cu ۲۵-۴۵ Zr	$\alpha$ Cu کریستال $\beta$	Fe ۱-۲ ZrB ۰/۰۵	تقلیل به ۰/۱-۰/۲ میلی‌متر	فعل و انفعال پرتکتیکی با Fe و وجود هسته ZrB <sub>۲</sub>
Fe <sub>۳-۴</sub> C برای چدن خاکستر	Fe <sub>۳</sub> C اوتکتیک یا C	FeSi ۰/۰۵ CoSi ۰/۰۲ SiMnZr ۰/۰۲ SiC ۰/۰۲	تعویض سماتیت به گرافیت لایه‌ای	قابلیت‌های گرافیت‌زایی
Fe ۴-۴/۵C	چدن لایه‌ای	Mg ۰/۰۴-۰/۰۶ Ce ۰/۰۰۵-۰/۰۱ همراه با فروسیلیسیم ۰/۷۵٪	تغییر لایه گرافیت به گرافیت کروی	کاملاً مشخص نیست احتمال ترکیب MgO و آزاد شدن C از CO
Fe ۳-۳/۷C 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

۳- اندازه‌ی جوانه‌زها: اندازه‌ی جوانه‌زها باید مناسب انتخاب شود. چنانچه اندازه‌ی ذرات جوانه‌زا خیلی بزرگ باشد، باعث غیریکنواختی در قطعات ریختگی می‌شود و خواصّ قطعه‌ی ریختگی را کاهش می‌دهد و برعکس، در صورتی که جوانه‌زها خیلی ریز باشند ممکن است در مذاب حل شده، راندمان جوانه‌زایی کاهش یابد.

براساس تجربه اندازه‌ی جوانه‌زای مناسب برای آلیاژهای مختلف به دست می‌آید.

۴- پخش یکنواخت: پخش یکنواخت جوانه‌زها در مذاب، اهمّیت زیادی در بهبود کیفیتّ قطعات ریختگی دارد.

۵- مقدار جوانه‌زا: مقدار جوانه‌زا باید حدّ معینی داشته باشد. چنانچه مقدار جوانه‌زا کم باشد ریزدانه‌گی به دست نمی‌آید. همچنین در صورتی که تعداد جوانه‌زها خیلی زیاد باشد، به دلیل حذف اثرات یکدیگر امکان درشت‌دانه‌گی وجود دارد.

### ۱-۲-۳- مزایا و عیوب جوانه‌زایی

#### الف- مزیتها

۱- خواصّ مکانیکی: خواصّ مکانیکی سختی، استحکام، مقاومت به ضربه بهبود می‌یابد.

۲- مک‌های گازی و انقباض: مک‌های گازی و انقباضی کوچک‌تر شده، در برخی موارد

حذف می‌شوند.

۳- یکنواختی خواص در جهات مختلف بهبود می‌یابد.

۴- حسّاسیت به ایجاد ترک‌های حین انجماد در ریخته‌گری کاهش می‌یابد.

۵- خاصیتّ قابلیتّ ماشین‌کاری را بهبود می‌بخشند.

۶- عملیاتّ تمام‌کاری مانند (پولیشکاری، آبکاری) در مورد قطعات جوانه‌زایی شده، نتایج

مطلوبتری دارد.

۷- قابلیتّ پذیرش عملیاتّ حرارتی در مورد آن افزایش می‌یابد.

#### ب- عیبها

۱- سیالیتّ ریخته‌گری را کاهش می‌دهد.

۲- ناخالصی را در مذاب و قطعه افزایش می‌دهد.

- ۱- واکنش گاز با مذاب را دسته‌بندی نموده، در مورد هر کدام به اختصار توضیح دهید.
- ۲- مهمترین منابع تولید کننده‌ی گاز در مذاب را نام ببرید.
- ۳- انحلال گازها در مذاب، چگونه انجام می‌شود؟
- ۴- عوامل مؤثر بر انحلال گاز در مذاب را توضیح دهید.
- ۵- مکانیزم ایجاد مک‌های گازی را به طور کامل توضیح دهید.
- ۶- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی را نام ببرید.
- ۷- روش مشاهده‌ی سطح نمونه‌ی قطعه‌ی ریخته شده برای اندازه‌گیری گاز در مذاب را توضیح دهید.
- ۸- نکات مهم در پیشگیری ورود گاز به مذاب را نام ببرید.
- ۹- روش‌های گاززدایی را نام ببرید.
- ۱۰- مکانیزم گاززدایی به وسیله‌ی گازهای بی‌اثر را توضیح دهید.
- ۱۱- عوامل مؤثر در افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گاز را توضیح دهید.
- ۱۲- گاززدایی با گازهای فعال چیست؟ وجه تمایز و تشابه آن را با گازهای خنثی تشریح نمایید.
- ۱۳- انواع آخال را نام برده، در مورد هر کدام مختصراً توضیح دهید.
- ۱۴- منابع ایجاد آخال و راه پیشگیری از آن چیست؟
- ۱۵- آخال‌زدایی را تعریف نمایید.
- ۱۶- نقش فلاکسهای پوششی را توضیح دهید.
- ۱۷- نقش فلاکسهای تمیزکننده را مختصراً توضیح دهید.
- ۱۸- روش ترکیبی را در حذف آخال توضیح دهید.
- ۱۹- عملیات فیلتر کردن چیست و به چه منظوری انجام می‌شود؟
- ۲۰- تلقیح چیست؟
- ۲۱- شرایط جوانه‌زها را نام ببرید.
- ۲۲- مزایا و معایب جوانه‌زها را نام ببرید.