



فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب

فصل سوم:

تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب

درس ریخته گری ۱
دکتر مهدی دیواندری

تهیه تصاویر: حسین مهتاب پور
تهیه متن: حسین مهتاب پور
تهیه اسلاید ها: حسین مهتاب پور

دانشکده مواد و متالورژی
دانشگاه علم و صنعت ایران







فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← عملیات کیفی مذاب- مواد تشکیل دهنده بار کوره

عملیات کیفی مذاب

کلیه عملیاتی که برای برآورده ساختن اهدافی چون اصلاح ساختاری و شیمیایی آلیاژ قبل از بارریزی صورت می گیرد را عملیات کیفی مذاب می گویند.

مواد تشکیل دهنده بار کوره

(۱) شمش اولیه (Primary ingot)

فلزات آهنی مانند چدن: دارای کربن، سیلیسیم، منگنز و گوگرد.
فلزات غیرآهنی: با خلوص ۹۹٪ تا ۹۹/۹٪ و مقدار کمی ناخالصی.

(۲) شمش ثانویه (Secondary ingot)

شامل قراضه ها ← مهم ترین ویژگی: آغشته به رنگ و انواع آلودگی ها همانند چربی ها و روغن ها ← مانند قطعات فرسوده موتور خودرو و دیگ های آشپزی، پره رادیاتور شوماژ، انواع لوله و ...

و برگشتی ها ← مانند قطعات معیوب کارگاه های ریخته گری، اضافات قطعات ریختگی مانند راهگاه ها، تغذیه ها و ...

نکات

- سوفاره یا براده نوعی قراضه است که از تراشکاری قطعات ریختگی باقی می ماند.

- به علت نسبت سطح به حجم بسیار بالا ذوب سختی دارند و با ذوب مجدد آنها در آلیاژهای حساس به اکسیداسیون آخال اکسیدی و اکسید فیلم های دو لایه در قطعه ایجاد می گردد. استفاده از این مواد نباید از ۲۰٪ وزن شارژ تجاوز کند.

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← عملیات کیفی مذاب - مواد تشکیل دهنده بار کوره

عملیات کیفی مذاب

کلیه عملیاتی که برای برآورده ساختن اهدافی چون اصلاح ساختاری و شیمیایی آلیاژ قبل از بارریزی صورت می گیرد را عملیات کیفی مذاب می گویند.

مواد تشکیل دهنده بار کوره

(۱) شمش اولیه (Primary ingot)

فلزات آهنی مانند چدن: دارای کربن، سیلیسیم، منگنز و گوگرد.

فلزات غیرآهنی: با خلوص ۹۹٪ تا ۹۹/۹٪ و مقدار کمی ناخالصی.

(۲) شمش ثانویه (Secondary ingot)

شامل قراضه ها ← مهم ترین ویژگی: آغشته به رنگ و انواع آلودگی ها همانند چربی ها و روغن ها ← مانند قطعات فرسوده موتور خودرو و دیگ های آشپزی، پره رادیاتور شومپاز، انواع لوله و ...

و برگشتی ها ← مانند قطعات معیوب کارگاه های ریخته گری، اضافات قطعات ریختگی مانند راهگاه ها، تغذیه ها و ...

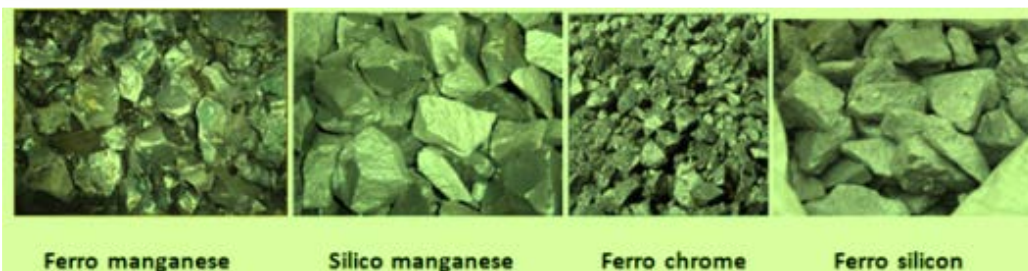
نکات

- سوفاره یا یراده نوعی قراضه است که از تراشکاری قطعات ریختگی باقی می ماند. این مواد به علت نست سطح به حجم بسیار بالا ذوب سختی دارند و با ذوب مجدد آنها در آلیاژهای حساس به اکسیداسیون آخال اکسیدی و اکسید فیلم های دو لایه در قطعه ایجاد می گردد. استفاده از این مواد نباید از ۲۰٪ وزن شارژ تجاوز کند.

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← مواد تشکیل دهنده بار کوره

(۳) آمیزان ها

آلیاژی از فلز اولیه و عنصر آلیاژی و گاهی اوقات یک عنصر سوم که فاقد استحکام مکانیکی بوده و تنها به منظور افزودن عناصر آلیاژی به مذاب در حین تهیه مذاب مورد استفاده قرار می گیرد. این مواد دارای نقطه ذوب پایینی بوده و گاهی از ترکیبات یوتکتیک دوتایی یا سه تایی ساخته می شوند.



این مواد در شرایط زیر به مذاب A اضافه می شوند که نمی توان B را مستقیماً به مذاب A افزود.

الف) فشار بخار B در دمای مذاب A بالا باشد.

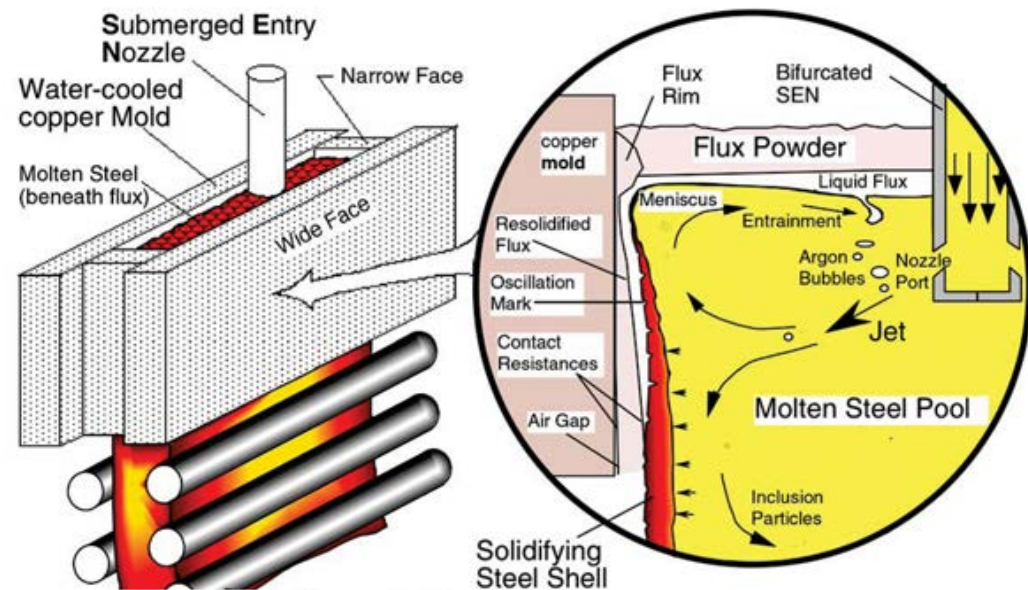
ب) عنصر B در دمای مذاب A به شدت اکسید شود.

ج) نقطه ذوب B از مذاب A بیشتر باشد.

د) عنصر B فاقد شرایط انحلال سریع در مذاب A باشد.

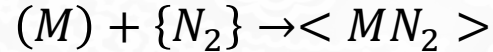
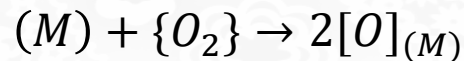
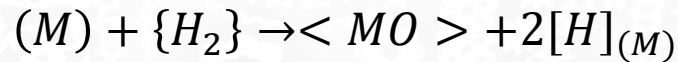
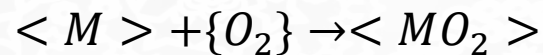
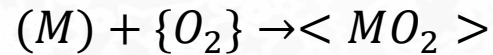
(۴) کمک ذوب ها

مجموعه موادی که عموماً به منظور افزودن مواد جوانه زای مناسب، اصلاح ساختار فازهای دوم و حذف آخال و گازهای محلول از مذاب مورد استفاده قرار می گیرند.



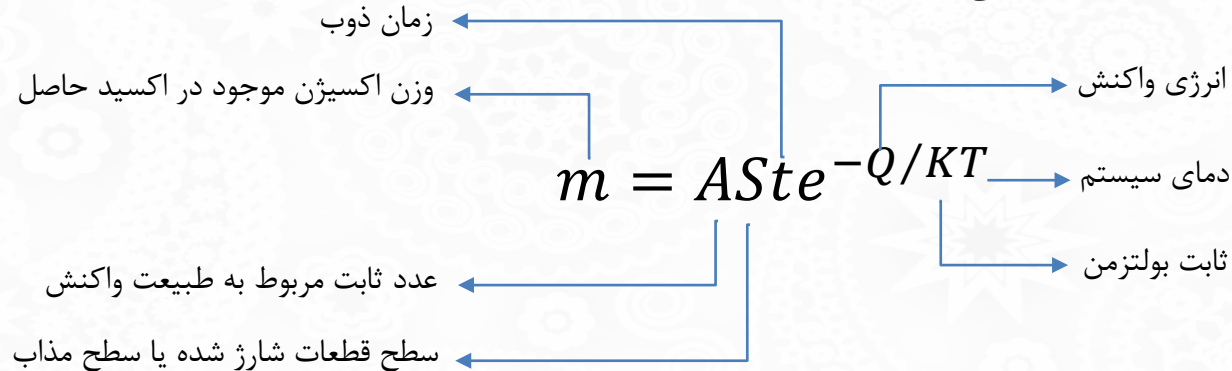
فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← واکنش های مذاب با محیط های اطراف خود

(۱) واکنش های مذاب با هوای محیط:



<جامد>، {مایع}، {گاز}، [محلول]

عوامل مؤثر بر شدت واکنش های اکسیداسیون که توسط Baliski به دست آمده است:

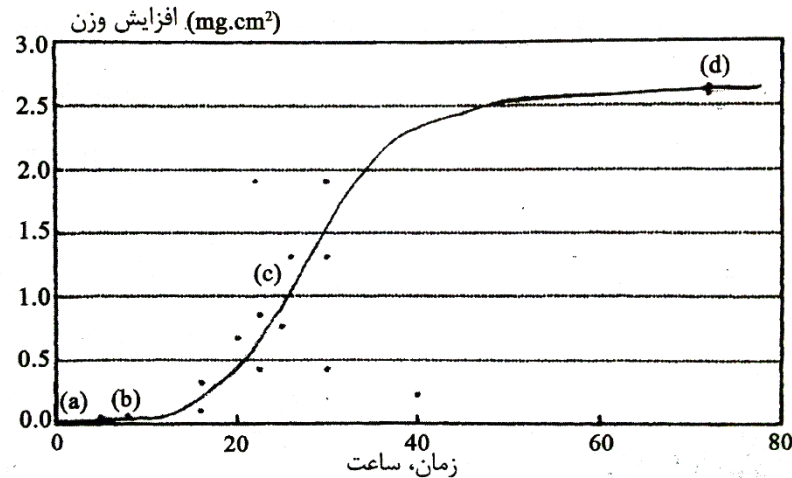


فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← واکنش های مذاب با محیط های اطراف خود

عوامل تشدید کننده های واکنش های مذاب با هوای محیط طبق رابطه Baliski

(۱) زمان ذوب

مقدار اکسیداسیون مذاب با افزایش زمان افزایش می یابد. سرعت این افزایش ممکن است با قطور شدن لایه اکسید در اثر زمان کاهش یابد (مذاب آلومینیوم) یا اینکه ثابت بماند (مذاب منیزیم).



منحنی اکسیداسیون آلومینیوم خالص در هوای خشک در دمای ۷۵۰ °C [۵]



فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← واکنش های مذاب با محیط های اطراف خود

عوامل تشدید کننده های واکنش های مذاب با هوای محیط طبق رابطه Baliski

۲) طبیعت فلز و اکسید آن

بعضی از فلزات طبیعتاً نسبت به سایرین تمایل بیشتری به اکسیداسیون دارند. طبیعت لایه اکسید ایجاد شده بر سطح فلز مذاب در اولین لحظات اکسیداسیون نیز تعیین کننده است.

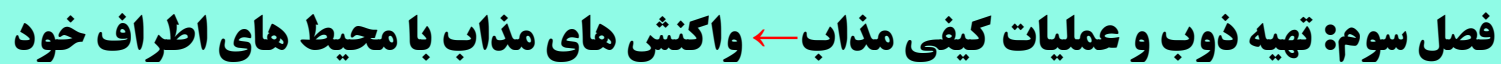
Pilling و Bedworth فلزات را بر اساس رفتار اکسیداسیون به دو دسته بزرگ فلزات نجیب (Nobel) و فلزات پست (Base) دسته بندی کردند.

فلزات نجیب همانند Ag ، Au ، Hg ، Pd و Rh در زیر نقطه ذوب به فشار اکسیژن نزدیک یا بیشتر از فشار اتمسفر جهت اکسیداسیون نیاز دارند و عملاً در شرایط عادی اکسید نمی شوند.	در مقابل فشار اکسیژن جهت اکسیداسیون فلزات پست کسری از فشار اتمسفر است.
---	--

فلزات پست بر حسب چگونگی اکسید دارای فشار بخار بالایی است و به مجرد تشکیل تبخیر می گردد. ← مانند (Mo) اکسیداسیون به دو دسته تقسیم می شوند. { (۱) اکسید دارای فشار بخار کمی است و به شکل جامد ظاهر می گردد. (۲) اکسید دارای فشار بخار کمی است و به شکل جامد ظاهر می گردد.

این دسته خود به دو گروه تقسیم می شوند.

{ الف) اکسید از نظر فیزیکی غیر پیوسته است. همانند (Li ، Na ، Mg و Sr)
ب) اکسید از نظر فیزیکی متراکم و پیوسته است. همانند (Al ، Ti ، Mn و Fe)



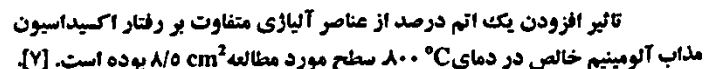
نسبت پیلینگ-بدورث برای تعیین نوع اکسید:

لايه متراکم و پيوسته (محافظ) $PBR > 1 \rightarrow$

متخلخل و غير محافظ $\rightarrow PBR < 1$

تعداد مول های فلز داخل لایه اکسید

این فلزات در هر مذابی که باشند باعث ایجاد اکسید متخلخل می شوند.



نسبت ییلینگ-بدورث برای برخی از فلزات

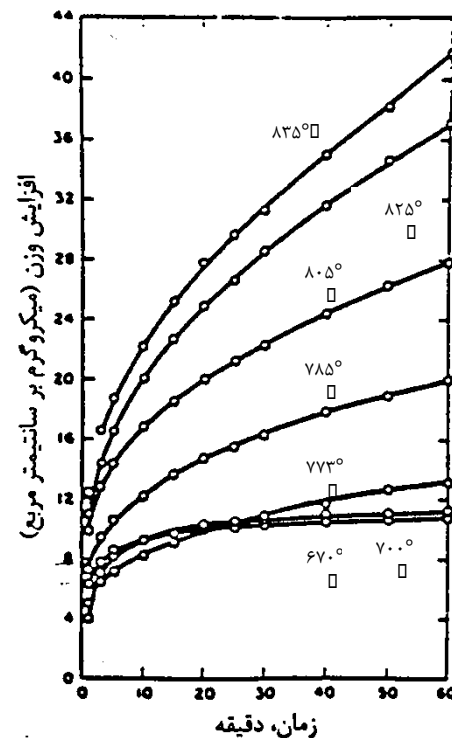
عناصر آلیاژی نیز می توانند به علت تمایل متفاوت عناصر به اکسیداسیون (نسبت PBR متفاوت) بر رفتار اکسیداسیون فلز تأثیر بگذارند.

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← واکنش های مذاب با محیط های اطراف خود

عوامل تشدید کننده های واکنش های مذاب با هوای محیط طبق رابطه Baliski

(۳) درجه حرارت

در اکثر فلزات و آلیاژ های ریختگی میزان اکسیداسیون با افزایش دما افزایش پیدا می کند.



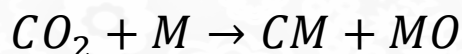
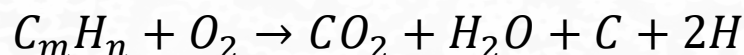
منحنی های اکسیداسیون آلومینیم خالص در ۰/۱۶ اتمسفر اکسیژن خشک در درجه حرارت های گوناگون [۸]



فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← واکنش های مذاب با محیط های اطراف خود

۲) واکنش با سوخت و محصولات احتراق

سوخت فسیلی دارای ترکیبات هیدروکربوره به فرمول عمومی $C_m H_n$ همراه با رطوبت، کمی گوگرد، خاکستر و همچنین ترکیبات هیدروژن سولفور هستند. محصولات احتراق گازهایی همچون CO_2 ، CO ، H_2O ، SO_3 ، SO_2 هستند. واکنش های احتمالی محصولات احتراق با مذاب چنین هستند.



۳) واکنش مذاب با مواد نسوز و دیرگداز ها

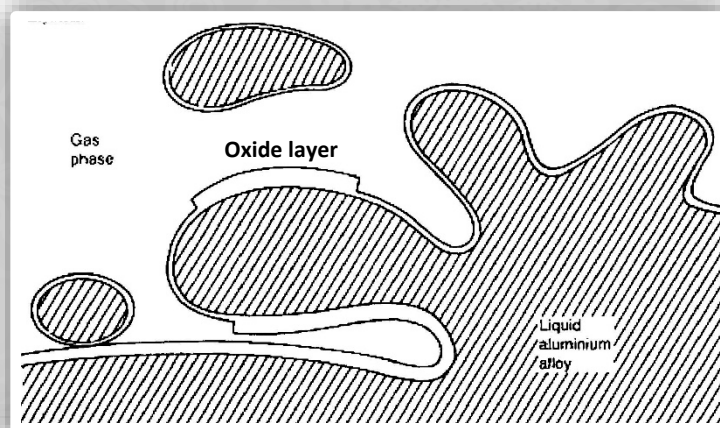
۴) واکنش با ابزار

- سرامیک بهترین ماده برای ابزار جهت جلوگیری از واکنش با مذاب است.
- انتخاب نوع سرامیک بستگی به نوع فلز دارد.
- اگر قیمت مهم باشد از ابزار فولادی استفاده می گردد.
- برای مثال واکنش مذاب آلومینیوم با ابزار فولادی: $< Fe_2O_3 > + (Al) \rightarrow 2[Fe]_{(Al)} + < Al_2 O_3 >$
<جامد>، (مایع)، {گاز}، [محلول]



فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← اکسید فیلم دو لایه

- (۱) مضرترین آخال در فلزات حساس به اکسیداسیون
 - (۲) این گونه اکسید ها می توانند لایه از هوا را بین خود به دام بیندازند.
 - (۳) این مجموعه می تواند موجب ایجاد ترک در قطعه منجمد شده شود.
 - (۴) این دو لایه اکسیدی که روی هم قرار می گیرند با هم متقارن هستند.
 - (۵) این فیلم باعث کاهش خواص مکانیکی قطعه می گردد.
 - (۶) این فیلم درون مذاب آلومینیوم می تواند منشاء عیوب دیگری همانند حفره های گازی (نفوذ هیدروژن به درون اتمسفر محبوس در فیلم)، جوانه زنی فاز های غنی از آهن و ایجاد ترک های خستگی شود.
 - (۷) گاز محبوس در اتمسفر فیلم می تواند با فلز واکنش دهد.
- (۱) مصرف شدن تقریباً کامل اتمسفر محبوس بین دو لایه
 (۲) انجام استحاله فازی بر سطح داخلی دو لایه که شامل
 آرایش مجدد اتم ها در سطح دو لایه گردد.
- (۸) این دو لایه تحت شرایط زیر می توانند به هم متصل شوند:



فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← آخال زدایی

روش های مبتنی بر پیشگیری

- (۱) عدم استفاده از قراضه های رنگ خورده و آغشته به مواد شیمیایی و چربی ها
- (۲) افزایش اندازه قطعات استفاده شده به عنوان شارژ کوره به جای استفاده از براده ها
- (۳) استفاده از کوره ها، کمک ذوب ها، و انزارهای مناسب

روش های مبتنی بر درمان

- (۱) استفاده از آخال زداها و مواد جلوگیری کننده از ورود آخال به محفظه قالب
- (۲) پیشگرم کردن مواد شارژ

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← آخال زدایی

(۱) مواد آخال زدا

حذف آخال تحت شرایط زیر امکان پذیر است: (با استفاده از فلاکس های آخال زدا)

(۱) سبک بودن آخال

(۲) تشکیل شدن آخال از لایه های به هم چسبیده و بزرگ

(۳) حداقل بودن مقدار فلز مذاب یا عناصر آلیاژی در آخال

دسته بندی فلاکس ها

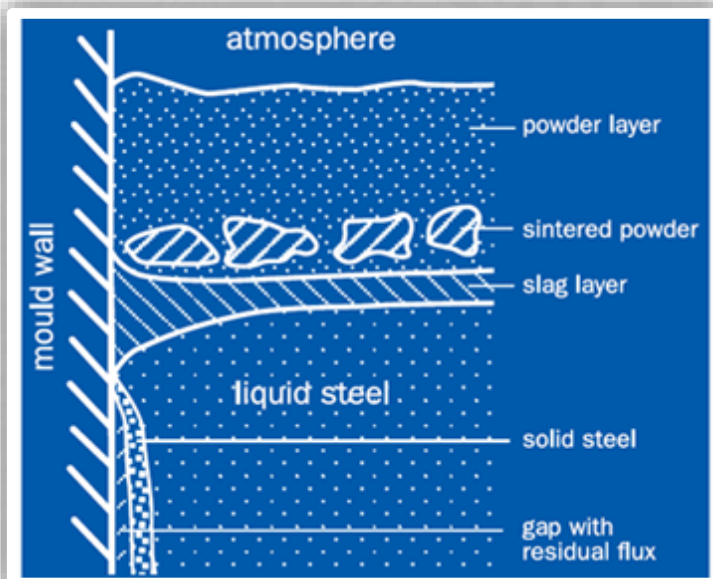
(۱) فلاکس های پوشاننده

(۲) فلاکس های آخال زدا

(۳) فلاکس های تمیز کننده

نکات

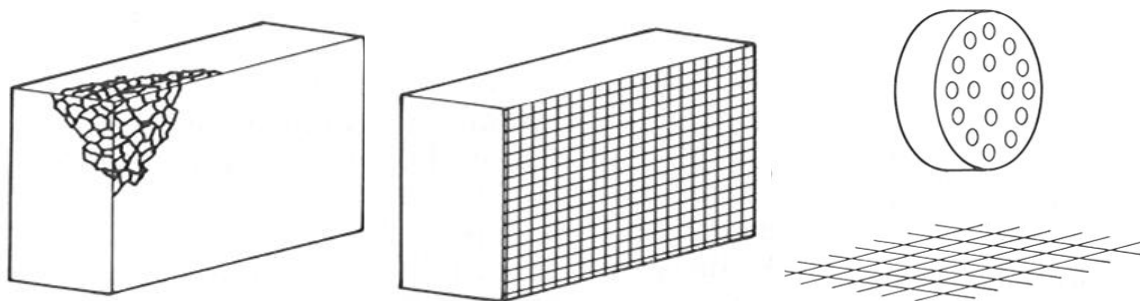
- (۱) فلاکس ها معمولا به شکل پودر تولید می شوند و می توانند در چند دسته بالابه صورت توأمان قرار بگیرند.
- (۲) هر چه نقطه ذوب فلاکس کمتر باشد از راندمان بالاتری برخوردار است.
- (۳) فلاکس های مورد استفاده برای آخال زدایی آلومینیوم حاوی کلرید و فلوئورید هستند که در حین استفاده تولید گاز های مضر می کنند.



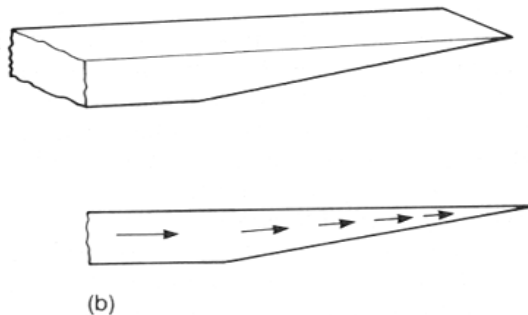
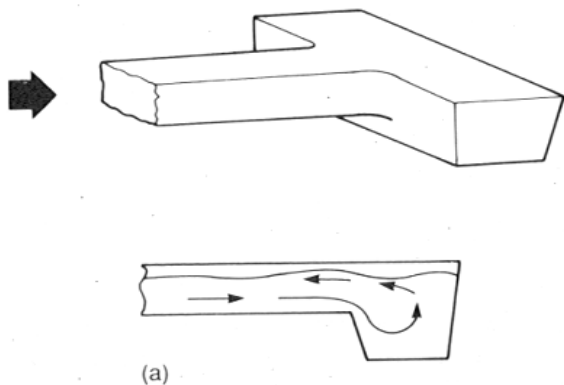
فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← آخال زدایی

(۲) مواد و روش های جلوگیری کننده از ورود آخال به محفظه قالب

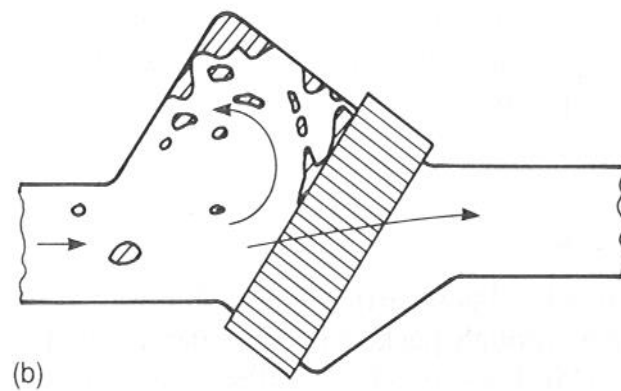
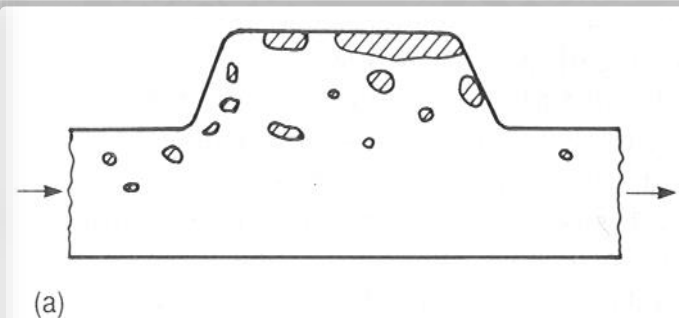
برای جلوگیری از ورود آخال باقیمانده در مذاب پس از آخال زدایی در سیستم راهگاهی از تله سرباره، محفظه سرباره، سرریز و فیلتر استفاده می گردد. (شرح کامل در فصل نهم)



چند نمونه از فیلتر ها



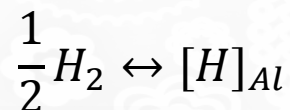
تله های سرباره



محفظه های سرباره

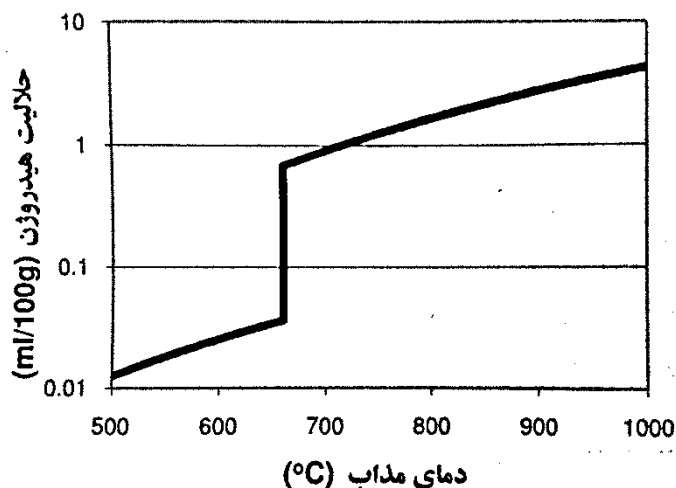
فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← گاز زدایی

- انحلال گاز ها در مذاب عموماً بین نشین و نفوذی است. ← مثال: آلومینیوم
- هیدروژن می تواند به طور قابل ملاحظه ای در آلومینیوم حل شود و حین انجماد باعث تخلخل گازی گردد.
- انحلال هیدروژن در مذاب آلومینیوم در اثر واکنش مذاب با رطوبت انجام می گردد:



منشاء رطوبت در مذاب آلومینیوم

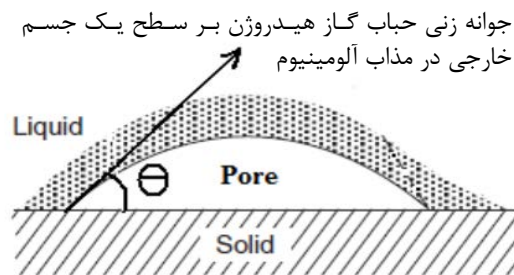
- (۱) رطوبت هوای محیط
- (۲) رطوبت گاز های حاصل از احتراق سوخت کوره
- (۳) قراضه ها، ابزار ریخته گری، مواد نسوز و بوتله ریخته گری مرطوب



حد حلالیت هیدروژن در آلومینیم خالص [۱۳]

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← گاز زدایی

جوانه زنی حباب های هیدروژنی



فشار گاز درون حباب

کشش سطحی مذاب

$$\Delta G = \gamma A + (P_e - P_i)V = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3}\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta P$$

مساحت فصل مشترک بین

مذاب و حباب هیدروژنی

فشار موضعی در مذاب

شعاع حباب هیدروژنی درون مذاب

حجم گاز هیدروژن درون مذاب

رسم ΔG بر حسب r ماکزیممی را در r^* نشان می دهد:

$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta P^*} \begin{cases} r < r^* \rightarrow \text{حباب ناپایدار که از بین می رود} \\ r > r^* \rightarrow \text{حباب پایدار که می تواند رشد کند.} \end{cases}$$

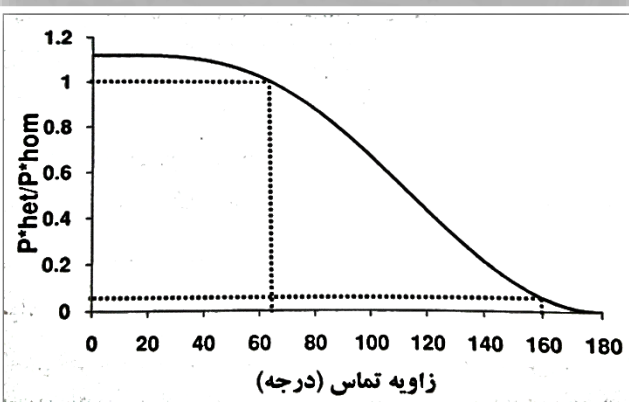
↓
($P_e - P_i$) → اختلاف فشار بین خارج و داخل حباب

نکته

جوانه زنی نیمه همگن حباب طبق فاکتور زیر از جوانه زنی همگن آن ساده تر است:

$$\frac{P_{het}^*}{P_{hom}^*} = 1.12 \sqrt{\frac{(2 - \cos\theta)(1 + \cos\theta)^2}{4}}$$

دشواری نسبی جوانه زنی غیر همگن نسبت به جوانه زنی همگن حباب گاز در مذاب →



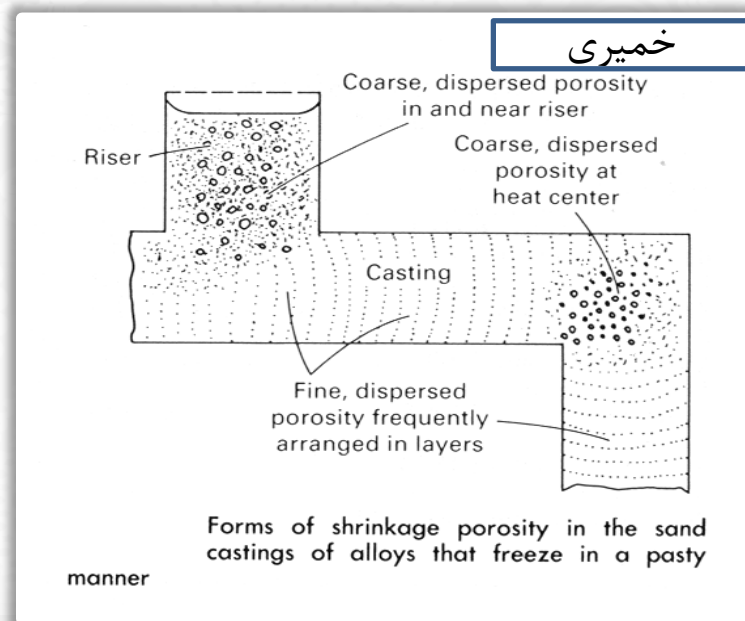
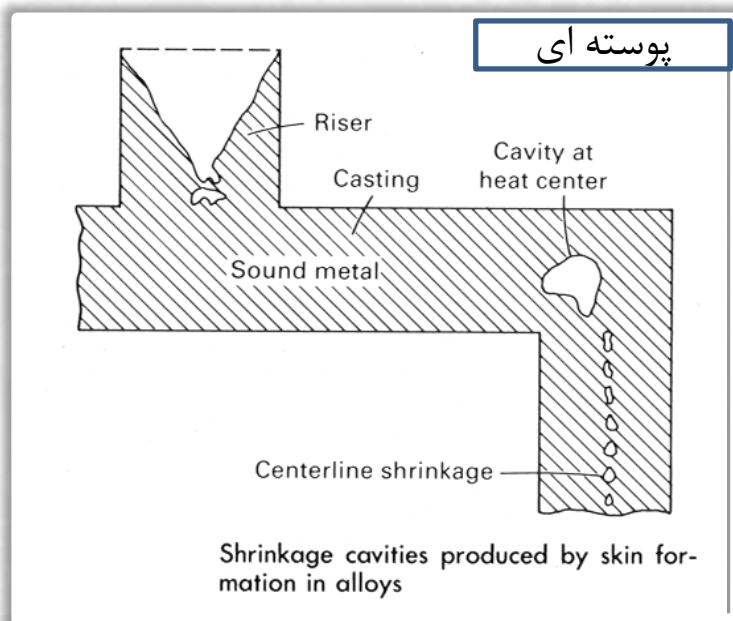
فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← گاز زدایی

عوامل موثر بر مقدار حفره های گازی

- (۱) رطوبت محیط، مواد، ابزار
- (۲) دما
- (۳) تلاطم و آشفته گی مذاب (در مرحله Pouring)
- (۴) کیفیت فیزیکی مذاب (در مرحله Melting)
- (۵) مدل انجماد و مقدار انقباض:

-آلیاژهایی که به صورت پوسته ای منجمد می شوند کمتر در معرض خطر ایجاد تخلخل انقباضی و گازی هستند.

-افزایش سرعت انجماد و ایجاد شیب حرارتی در قطعه می تواند در کاهش حفره های انقباضی و گازی موثر باشد.



فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← روش های گاز زدایی

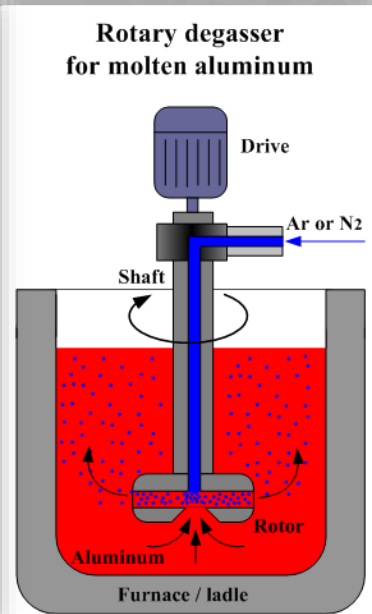
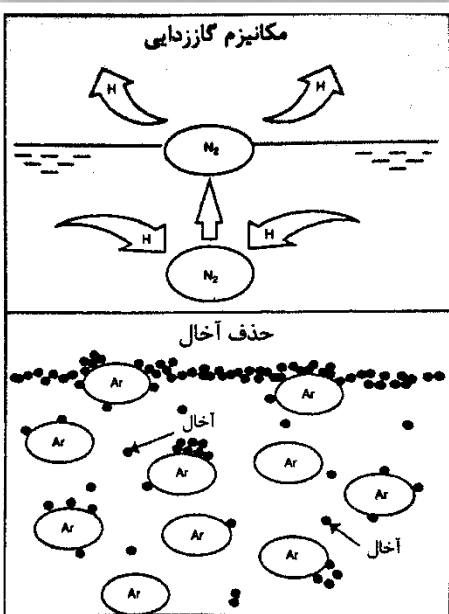
اساس تمام متدهای گاززدایی: ورود یک گاز بی اثر به مذاب در صنایع فولادسازی

(۱) افزودن کربن به مذاب ← باعث { جذب اکسیژن
از مذاب و (۲) دمش اکسیژن ← باعث { جذب هیدروژن
از مذاب می شود. جذب نیتروژن

در صنایع ذوب آلومینیوم

(۱) استفاده از قرص هگزاکلرواتان که پس از تجزیه حباب های بزرگی از آلومینیوم کلرید ایجاد می کند.
(۲) دمیدن گاز خنثی همانند نیتروژن یا آرگون توسط لوله نسوز درون مذاب

مشکلات { (۱) بزرگ بودن حباب های ایجاد شده
(۲) از بین رفتن لایه محافظ روی مذاب و جذب دوباره گاز توسط مذاب



نتایج

(۱) افزایش سطح موثر حباب ها و در نتیجه افزایش سرعت جذب هیدروژن
(۲) عدم ایجاد تلاطم در سطح مذاب و در نتیجه رفع مشکل جذب دوباره گاز توسط مذاب
(۳) چسبیدن مذاب به ذرات آخال و اکسید معلق در مذاب و هدایت آنها به سطح مذاب

روش حل مشکل ← گاززدایی چرخشی (Rotary Degassing)
← تزریق گاز از میان شفت گرافیتی که با سرعت بالا درون مذاب (۴۰۰ تا ۵۰۰ دور در دقیقه) می چرخد ← چرخش شفت باعث ریز شدن حباب های گاز خنثی می گردد.

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← عملیات جوانه زائی و اصلاح ساختار

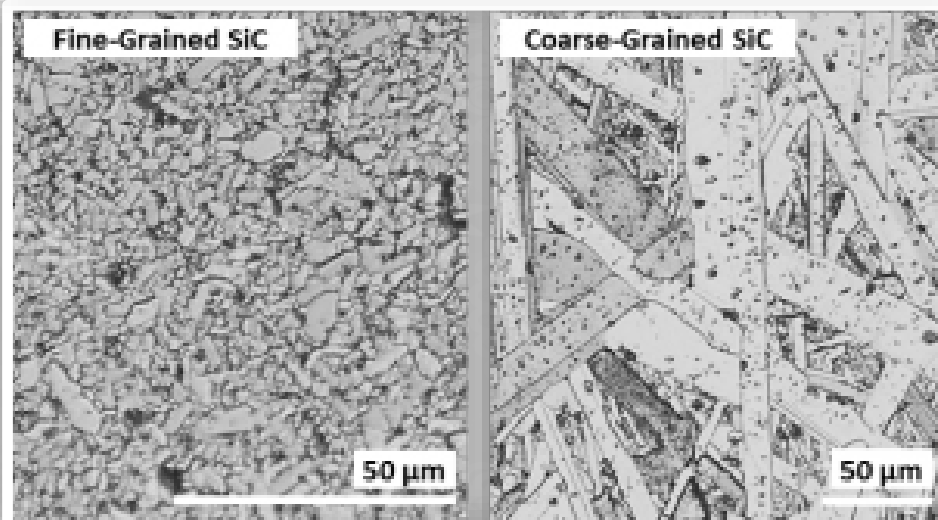
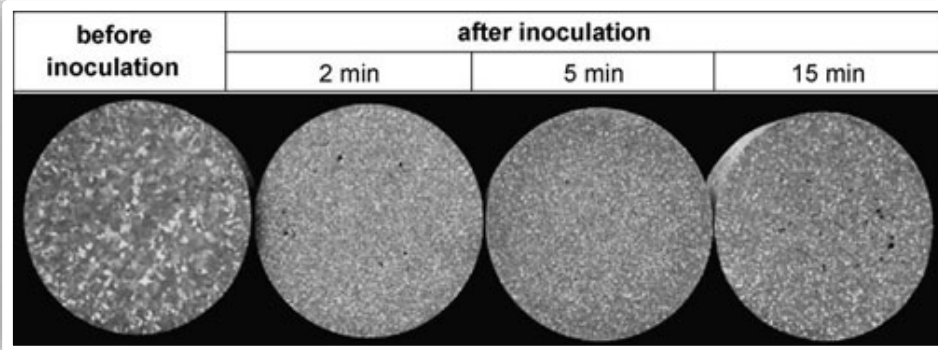
جوانه زائی (Inoculation, Grain Refinement)

- مطلوب بودن ایجاد ساختار ریزدانه

- کاهش غلظت ناخالصی ها به دلیل افزایش مساحت مرزدانه ها در اثر ریزدانه شدن

مزایای ریزدانه بودن قطعات ریخته گری

- (۱) افزایش مقاومت قطعه در برابر ترک گرم در خلال انجماد
- (۲) افزایش مقاومت قطعه در برابر ایجاد ترک حین جوشکاری
- (۳) افزایش مقاومت قطعه در برابر خوردگی مرزدانه ها
- (۴) افزایش انعطاف پذیری و چکش خواری قطعه
- (۵) افزایش حداکثر استحکام تسلیم
- (۶) افزایش مقاومت در برابر خستگی (از جمله خستگی حرارتی)
- (۷) کاهش اندازه و مقدار تخلخل
- (۸) افزایش قابلیت کارپذیری گرم شمش های تولیدی





فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← عملیات جوانه زائی و اصلاح ساختار

روش های ریزدانه کردن

(۱) افزایش سرعت سرد کردن

(۲) اعمال ارتعاش مکانیکی یا فراصوتی

(۳) استفاده از مواد جوانه زا قبل از بارریزی

خصوصیات جوانه زای مناسب

(۱) یکسان بودن ساختار کریستالی جوانه زا با ساختار

کریستالی فلز جامد

(۲) پارامتر شبکه جوانه زا نباید بیش از ۲۰٪ از پارامتر

شبکه فلز جامد بزرگتر باشد.

(۳) قابلیت تر شدن جوانه زا توسط فلز مذاب

(۴) جوانه زا باید بتواند در مذاب ، فوق گداز پایدار داشته و

جامد باقی بماند.

(۵) کوچک بودن اندازه ذرات ماده جوانه زا به صورتی که

در تمام مذاب پخش شده و ته نشین نشود.

(۶) عدم حل شدن سریع جوانه زا درون مذاب

برخی از انواع جوانه زا ها

(۱) در آلیاژهای $Al \leftarrow Ti$ یا $Ti-B$ استفاده می شود ←

موثرترین ماده جوانه زا برای آلیاژهای آلومینیوم آمیزان $Al-5\%Ti-1\%B$

– استفاده از B به همراه Ti باعث افزایش قدرت ریزکنندگی جوانه زا و زمان میرایی در مذاب می گردد.

(۲) در آلیاژهای $Mg \leftarrow$ از C یا Zr استفاده می شود.

(۳) در آلیاژهای $Cu \leftarrow$ از Fe استفاده می شود.

نکات

(۱) جوانه زاها را می توان به دو صورت (۱) آمیزان یا (۲) نمک به مذاب افزود.

(۲) آمیزان ها دقت و قابلیت کنترل جوانه زایی را فراهم می آورند.

(۳) در اکثر کارگاه های ریخته گری از نمک ها به علت ارزانی و در دسترس بودن به عنوان جوانه زا استفاده می شود.

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← عملیات جوانه زائی و اصلاح ساختار

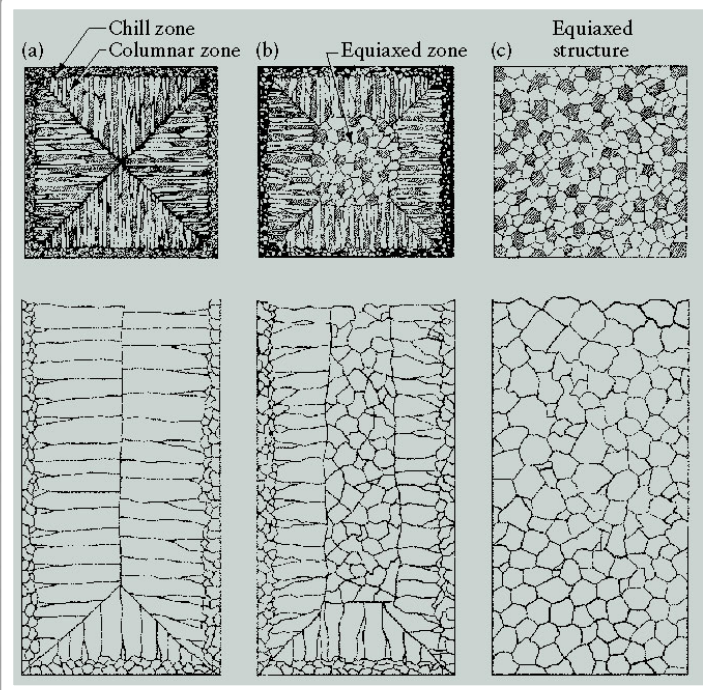
نتیجه افزودن جوانه زها به مذاب

(۱) ایجاد جوانه های غیرهمگن پایدار در مذاب

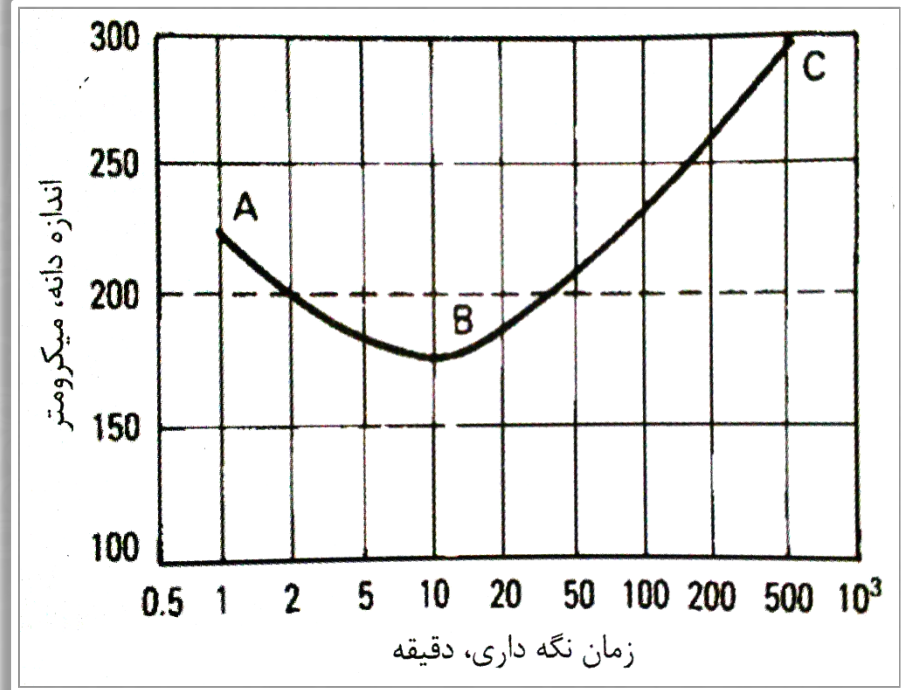
(۲) جلوگیری از رشد دانه ها در اثر ایجاد شیب غلظتی و مادون انجماد ترکیبی در مجاورت دانه های در حال رشد

نکته

زمان میرایی (Fading Time): فاصله زمانی بین لحظه افزودن مواد جوانه زا به مذاب و حذف کامل قدرت ریزکنندگی آنها (در اثر انحلال در مذاب)



شمای سه حالت مختلف انجماد فلز (a) خالص، (b) آلیاژهای محلول جامد، (c) ساختار حاصل از عوامل هسته زا



تاثیر زمان نگهداری مذاب پس از افزودن مواد جوانه زا بر اندازه دانه های قطعه ریخته گری حاصل

فصل سوم: تهیه ذوب و عملیات کیفی مذاب ← اصلاح ساختار

عملیات اصلاح جهت تغییر مورفولوژی فاز های ثانویه موجود در ریزساختار قطعات تولید شده انجام می شود.

متداول ترین موارد اصلاح ساختار در ریخته گری

(۱) تغییر مورفولوژی گرافیت از لایه ای به کروی در چدن ← با افزودن منیزیم و سرب ← تبدیل چدن خاکستری به چدن نشکن

(۲) تغییر ساختار فاز سیلیسیم یوتکتیک از سوزنی به گلولی در آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم ← با افزودن عناصری همانند سدیم، استرانسیم و کلسیم ← تبدیل ساختار سوزنی سیلیسیم به ساختار فیبری شکل

