

بسم الله الرحمن الرحيم

## آلیاژ های غیر آهنی

استاد حسین صدافتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

### جلسه اول

- به جز چدن و فولاد ، روی چهار گروه آلیاژها : آلومینیوم- مس- روی – منیزیم کار می کنیم.
- پیش نیاز این درس متالورژی فیزیکی و عملیات حرارتی است.
- استفاده از کامپیوتر و اینترنت ، آشنایی با منابع مکتوب ، استفاده از درس های مهندسی صنایع.

### "آلیاژهای آلومینیوم"

از نقاط قوت آلومینیوم در مقابل فولاد  $\uparrow$   $\frac{\text{استحکام}}{\text{(مخصوص) وزن}}$

- که برای استفاده در صنایع هواپیما سازی ، نظامی و خودروسازی کاربرد خواهد داشت.
- کاهش وزن مصرف سوخت را کاهش خواهد داد.
- یکی از معیارهای توسعه یافتگی میزان تولید و مصرف آلیاژهاست.
- مقایسه صحیح بین مصرف فولاد و آلومینیوم باید حجمی باشد.

### قطعات آلومینیومی خودرو :

- ساخت بلوک سیلندر- سرسیلندر- مانی فولد- رینگ خودرو- ( حساس ترین قطعه خودرو ، رینگ اسپرت که اصلاً توصیه نمی شود).
- در سال ۱۹۶۵ ، ۲۵ کیلو آلومینیوم در خودرو و اکنون در خودروهای ۶۵۰ کیلویی ، ۱۵۰ کیلو آلومینیوم است.
- هواپیما سازی – خودرو- هلی کوپتر – هوافضا- کامپیوتر- الکتریکی – وسایل خانگی – چاپ – نساجی – از زمینه های استفاده از آلومینیوم است.
- منابع آلومینیوم ایران اندک است و عمدتاً سیلیکاتی است که در مقابل آلومینا تولید Al از آن سخت تر است.
- ۹۸٪ خودروهای جهان سرسیلندر آلومینیوم دارند. ولی بلوک سیلندر کمتر.

-آلیاژهای آلومینیوم در ایران تحت استانداردهای آمریکا و انگلیس است.

### تقسیم بندی آلیاژهای آلومینیوم : ( ریختگی)

به طور کلی در ایران تقسیم بندی آلیاژهای آلومینیوم بر مبنای ترکیب شیمیایی به صورت بین المللی و استاندارد مورد پذیرش قرار نگرفته است. ولی آنچه که بیشتر عمومیت دارد استاندارد آمریکایی از انجمن آلومینیوم آمریکا A.A است. در این استاندارد شمش های ریختگی با سه رقم بیان می شوند.

- 1XX → Al > ۹۹% خالص
- 2XX → Al-Cu
- 3XX → Al-Si-Mg یا Al-Si-Cu یا Al-Si-Mg-Cu
- 4XX → Al-Si

آلیاژهای گروه 3XX و 4XX پرمصرف ترین آلیاژهای آلومینیوم است. بیش از ۹۰ درصد قطعات ریختگی در این دو گروه است.

- 5XX → Al-Mg
- 6XX → استفاده نشده است
- 7XX → Al-Zn
- 8XX → Al-Sn

آلیاژهای با استاندارد انگلیسی به صورت LM4 ، LM12 است.

### اثر عناصر آلیاژی

**مس Cu :** عنصر مس می تواند در آلیاژهای Al تا حدود ۱۰% نیز افزایش پیدا کند. مس باعث بهبود استحکام و سختی در حالت ریختگی و همچنین عملیات حرارتی شده می شود. به خصوص آلیاژهای Al که بین ۴ تا ۶ درصد مس دارند قابلیت عملیات حرارتی پذیری مناسبی دارند. مس عمدتاً مقاومت به خوردگی را کاهش داده و همچنین حساسیت به خوردگی تنش S.C.C را افزایش می دهد. مقاومت به ترک گرم Hot tear را کم می کند یا به عبارتی قابلیت ریختگی را کاهش می دهد.

عنصری که می تواند اثرات منفی مس را جبران کند سیلیسیم است.

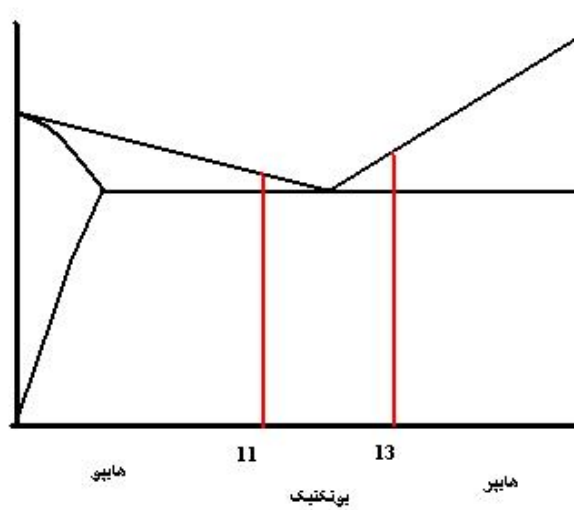
## سیلیسیم Si :

$\text{SiO}_2$	سیلیس	فرانسوي
	سیلیکا	انگلیسي
$\text{Si}$	Silcon	انگلیسي
	سیلیسیم	فرانسوي

Si باعث بهبود قابلیت ریختگی می شود ، باعث افزایش سیالیت شده و باعث افزایش مقاومت به ترک گرم خواهد شد. خاصیت مذاب رسانی را افزایش می دهد.

انجماد آلیاژهای Al-Si مثل چدن هاست.

اکثر قطعات آلومینیومی در قسمت پوتکتیک و هایپو است.



## جلسه دوم

### منیزیم Mg :

این عنصر باعث بهبود استحکام و سختی آلیاژهای Al-Si می شود به خصوص در حالت عملیات حرارتی شده منیزیم خاصیت عملیات حرارتی پذیری را افزایش می دهد.

معمولا آلیاژهای Al-Si علاوه بر منیزیم می توانند عناصری نظیر مس و نیکل را به منظور افزایش عملیات حرارتی پذیری همراه داشته باشند.

مکانیزم های استحکام دهی ← از طریق محلول جامد  
تشکیل ترکیبات بین فلزی

به عنوان مثال Mg از طریق تولید فاز بین فلزی  $Mg_2Si$  موجب استحکام دهی می شود و با کنترل رسوب سختی ، افزایش استحکام کنترل می شود.

در آلیاژهای Al-Si در محدوده ۰/۴٪ - ۰/۰۷٪ می تواند متغیر باشد. در سیستم های سری 500، Mg به مقادیر بیشتری نیز بکار می رود و محدودیت ندارد. Al-Mg از ویژگی های قابل توجه سری 500 (Al-Mg) صافی سطح ، صیقلی بودن و روشن بودن سطح ، مقاومت به خوردگی بالاست. در حالیکه تلفیقی از استحکام و فرم پذیری مورد نیاز باشد این آلیاژ بکار می رود. معمولا عناصری که استحکام را بالا می برند موجب تردی می شوند اما در این آلیاژ این طور نیست. چنین آلیاژهایی عمدتا کاربرد ساختمانی دارند.

ویژگی آلیاژ Al-Mg در ریخته گری اهمیت ندارد.

### روی Zn :

این عنصر به تنهایی چندان موثر نیست اما همراه با مس و منیزیم باعث ایجاد خواص عملیات حرارتی پذیری می شود و رسوب سختی ممکن خواهد بود. روی بیشتر در آلیاژهای دایکاست و همچنین ریخته گری در قالب های فلزی یا ثقلی استفاده می شود.

### قلع Sn :

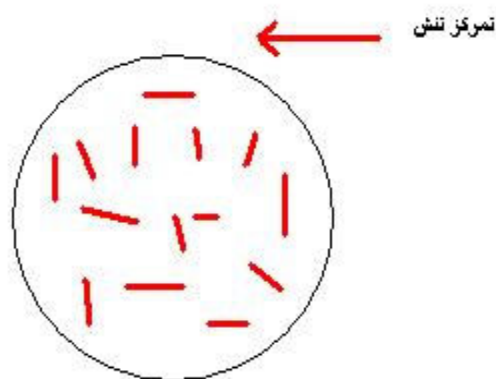
این عنصر به طور موثر خاصیت ضد اصطکاک دارد . این خاصیت در بلبرینگ ها و یاتاقان ها بکار می رود. آلیاژهای ریختگی آلومینیوم ممکن است تا ۲۵٪ قلع داشته باشند. افزایش قلع همچنین موجب بهبود خاصیت ماشینکاری می شود.

### سرب Pb :

سرب موجب بهبود خاصیت ماشینکاری در آلیاژهای ریختگی آلومینیوم می شود . مقادیر مورد نیاز  $Pb > 0/1\%$  است.

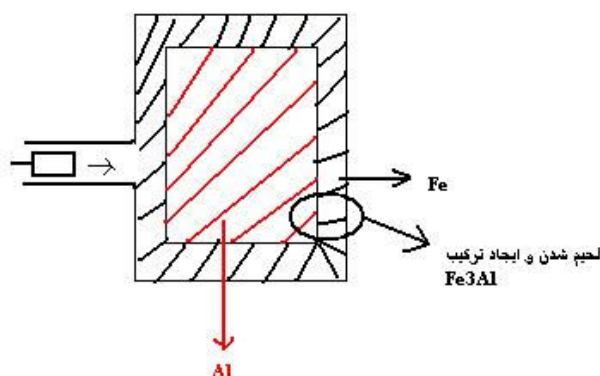
### آهن Fe :

آهن داراي اثر دوگانه است . اما بطور كلي يك عنصر مضر در آلياژهاي آلومينيوم شناخته مي شود. آهن باعث ايجاد تركيبات بين فلزي مانند  $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$  ،  $\text{Fe}_3\text{Al}$  مي گردد . اين تركيبات بين فلزي فازهاي سوزني شكل هستند و اثرات بسيار مخربي بر خواص مكانيكي دارند. علت آن است كه با اعمال يك تنش بر قطعه تمرکز تنش در فصل مشترك بين زمينه و اين سوزنها صورت مي گيرد و از همين قسمت ها كه اختلاف تنش وجود دارد ترك ايجاد و توسعه مي يابد.



كليۀ تركيبات بين فلزي فازهاي ترد ، سخت و شکننده هستند . سختي فازهاي سوزني ۶۰۰-۷۰۰ ويكرز و سختي زمينه  $\text{Al}$  ، ۲۰-۳۰ راکول است . فازهاي سوزني در واقع صفحاتي هستند كه از كناره ديده مي شوند. با افزودن منگنز مورفولوژي ( شكل هندسي ) فازهاي بين فلزي تغيير داده مي شود و از اثر مضر آن كاسته مي شود.

آهن داراي اثرات مثبتي نيز هست . برخي از آلياژها مقاومت به ترك گرم را بهبود مي بخشند و استحکام در دمائي بالا را افزايش مي دهد. نيكل نيز مانند آهن در آلياژهاي دما بالا به علت ايجاد تركيبات بين فلزي پايدار استحکام در دمائي بالا را بهبود مي بخشد. درآلياژهاي دايكاست نيز آهن مفيد است. علت آن است كه آهن از چسبیدن قطعه به قالب در اين فرآيند جلوگیری مي كند و از جوش خوردن قطعه به قالب جلوگیری مي كند.



چسبیدن قطعه به قالب : تشکیل ترک بین فلزی در فصل مشترک قطعه و قالب در اثر نفوذ برای رفع این عیب که قطعه یا قالب را خراب می کند میزان درصد آهن مذاب را افزایش می دهند تا حدود ۱% می رسد. بدیت ترتیب میل ترکیبی (affinity) پتانسیل شیمیایی برای ترکیب با دیواره) مذاب Al را نسبت به دیواره قالب فولادی کاهش می دهند. با این وجود ترکیبات بین فلزی سوزنی شکل تشکیل خواهد شد. برای اصلاح این عیب از عناصر دیگری مانند منگنز استفاده می شود.

### منگنز Mn :

این عنصر از تشکیل فاز ترد و شکننده سوزنی آهن تا حدودی جلوگیری می کند. منگنز مصرفی %XFe(0/2-0/4) و یا حدود است.

Needle  $\xrightarrow{\text{Mn}}$  Chinese Script



چنانچه بتوانیم فازهای سوزنی شکل  $\beta$  را به فاز  $\alpha$  (حروف چینی) و یا فازهای متراکم تبدیل کنیم اثرات تخریبی آن کاهش یافته و خواص مکانیکی بهبود می یابد و اثر مثبت وجود Fe نیز حفظ می شود. ( فازهای ستاره ای شکل یا کروی نیز ممکن است تولید شود).

Cr، Mn، Fe در یک دوره تناوب قرار دارند و در فرمول شیمیایی قابلیت جانشینی یکدیگر را دارند.

### $\text{Al}_{15}(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr})_3\text{S}_{12}$ Complex intermetallic Compound

چگالی فاز فوق الذکر از چگالی Al(I) بسیار بالاتر است در نتیجه این فاز رسوب (Setting) می کند و موجب ایجاد لجن در کوره های نگهدارنده مذاب می شود. (Sluge) این لجن ظرفیت کوره را اشغال می کند و کاهش می دهد و ترکیب شیمیایی مذاب را تغییر می دهد. Mn روی جوانه زنی و رشد فازهای بین فلزی تاثیر دارد با ایجاد Twinning موجب ایجاد انشعاب در حین رشد می شود.

با استفاده از یک عنصر میکروآلیاژی مانند استرانسیم می توان این ترکیبات بین فلزی را چنان کوچک کرد که با بزرگنمایی بالای X5000 دیده شوند و اثر مضر آهن از بین می رود و کامپوزیتی با زمینه Al و عامل استحکام بخش ترکیب بین فلزی آهن ایجاد می شود. مکانیزم رسوب سختی نیست بلکه توزیع فاز سخت ساز است با وجود عامل ترکیب بین فلزی به صورت رسوبات سخت کننده سرامیکی نیازی نخواهد بود.

## کرم Cr :

کرم نیز نقش Mn را بازی می کند و باعث بهبود اثر تخریبی فازهای آهن می شود . ترکیبات حاوی کرم مانند  $CrAl_6$  از رشد دانه جلوگیری می کند . همچنین Cr در بعضی آلیاژها مقاومت به خوردگی را بهبود بخشیده و در مقابل ، از مقادیر بالا حساسیت به سریع سرد شدن quench را افزایش می دهد که مفید نیست.

## نیکل Ni :

این عنصر همراه با مس خاصیت عملیات حرارتی پذیری را به آلیاژ داده و کاربرد آلیاژها در دماهای بالا را توسعه می دهد . Ni نسبت به سایر عناصر گران قیمت تر است و چنین آلیاژی برای کاربردهای معمول نخواهد بود بلکه در دمای بالا بکار می رود . مثال : آلیاژ پیستون در موتور اتومبیل . نیکل ضریب انبساط حرارتی Thermal Expansion Coef را کاهش می دهد . کاهش ضریب انبساط حرارتی در آلیاژهای دمای بالا بسیار مفید خواهد بود. و از تغییرات ابعادی جلوگیری می کند. چنین آلیاژی پایداری ابعادی Dimensional Stability در دمای بالا خواهد داشت که در طراحی قطعات موتور حائز اهمیت است. این خاصیت در قطعات هوا و فضا نیز کاربرد دارد . بدین ترتیب اعوجاج در دمای بالا رخ نمی دهد . اگر تنش ها الاستیک باشند مشکلی نیست اما با ورود به منطقه پلاستیک قطعه از نظر ریخته گری نابود شده است . قطعه با ضریب اطمینان باید زیر منطقه پلاستیک وارد شود.

## فسفر P : میکرو آلیاژی

این عنصر به صورت تشکیل فسفید آلومینیوم AIP موجب جوانه زنی و ریز شدن فاز سلسیم اولیه در آلیاژهای هایپرپوتکتیک می شود ، تنها اثر مثبت این عنصر همین است.

## تیتانیم Ti :

این عنصر نقش جوانه زا (grain Refiner) را دارد و به همراه عنصر B بکار می رود و تشکیل ترکیبات بین فلزی  $TiAl_3$  و  $TiB_2$  را می دهد و محل جوانه زنی می باشد و دانه ها را ریز می کند.

## استرانسیم Sr :

این عنصر modifier است یعنی موجب اصلاح و بهسازی آلیاژ خواهد بود . با اصلاح سیلیسم پوتکتیک آلیاژ خواص بهتری از نظر مکانیکی خواهد داشت . میزان استفاده آن کم است .

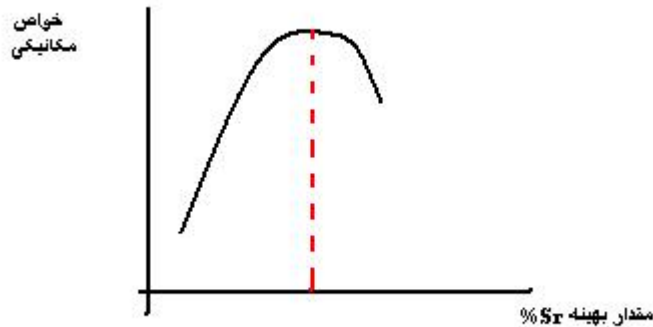
Sr ۰/۰۴% - ۰/۰۲%

۲۰۰-۴۰۰Ppm

این عناصر که با مقادیر بسیار کمی بکار رفته اثرات زیادی دارند میکروآلیاژی نامیده می شوند و موجب صرفه اقتصادی و ایجاد ارزش افزوده است. (Sr،B،Ti و....)

## انتیموان Sb و سدیم Na :

این دو عنصر نیز مانند Sr جهت اصلاح و بهسازی Si در آلیاژهای Al-Si مصرف می شود. چنانچه از عناصر میکروآلیاژی بیش از حد استفاده شود عیب ایجاد می گردد، به عنوان مثال افزایش مصرف Sr بیش از حد لازم موجب ایجاد مک و تخلخل می شود. عناصر آلیاژی دارای میزان بهینه ای در هر کاربرد هستند. عناصر آلیاژی در منطقه فوق ذوب super heat بکار می روند.



مقدار بهینه عناصر آلیاژی برای هر آلیاژ متفاوت است با میزان Si تغییر می کند.

## خواص آلیاژهای Al :

۱- یکی از ویژگی های خوب Al وزن مخصوص پایین آن است.  $\rho_{Al} = 2/7 \text{ gr/cm}^3$ . این مقدار  $\frac{1}{3}$  فولاد، مس و برنج هاست که برای ساخت سازه های سبک بکار می رود.

۲- نقطه ذوب آلیاژهای آن پایین است.  $\approx 660^\circ\text{C}$ .

۳- قابلیت ریخته گری عالی

۴- خاصیت ماشین کاری خوب

۵- مقاومت به خوردگی عالی

۶- هدایت حرارتی و الکتریکی عالی

۷- غیرمغناطیس بودن. کاربرد: در صنایع الکتریکی و مخابرات

۸- غیر سمی بودن. مثال: صنایع بسته بندی مواد غذایی و نوشیدنی ها

۹- قابلیت بازیافت

۱۰- نسبت استحکام به وزن (وزن مخصوص)

۱۱- استحکام خوب



## انتخاب آلیاژ :

**الف ( قابلیت ریخته گری :** سیالیت آلیاژ از عوامل موثر در ریخته گری است به علاوه حساسیت به ترک گرم ، درصد میزان انقباض ، ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد اهمیت است و در سلامت قطعه نقش دارد . در آلیاژهای Al با دامنه انجماد از صفر ( یوتکتیک) با قابلیت سیالیت بالا تا  $\Delta T=140^{\circ}C$  ) آلیاژ خمیری) مواجه هستیم. مثال از مورد اخیر به آلیاژ  $Al-17\%Si$  اشاره کرد که بسیار در ریخته گری مشکل ایجاد کرده و موجب shrinkage می شود.

**ب) خواص مکانیکی :** لزومی ندارد که هر قطعه ای هزینه بالایی ایجاد کند بلکه باید خواص مکانیکی مورد نیاز را تشخیص داد . از فرآیند هایی که خواص مکانیکی را کنترل می کند ، عملیات حرارتی است که در اینجا ویژگی عملیات حرارتی پذیری مطرح می شود . چنین آلیاژهایی امکان دستیابی به خواص مکانیکی بالا را فراهم می کنند ، کنترل اندازه دانه و اصلاح و بهسازی با کنترل Si-Eut در خواص مکانیکی موثر است.

**ج) خواص کاربردی ( مصرف) و هزینه های اقتصادی :** بعضی از آلیاژها در کاربردهای معمولی بکار می رود اما بعضی کاربرد ویژه ( مثلا دمای بال ، مقاومت به خوردگی و ....) دارند . آلیاژهای ریخته گری برای مصارف عمومی بر اساس قابلیت ماشینکاری، مقاومت به خوردگی و ... انتخاب می شوند. آلیاژهای دارای مصارف ویژه ( مثل مقاومت در درجه حرارت بالا ، ضریب انبساط حرارتی کم ، ضد اصطکاک) نیز بر اساس موارد گفته شده بررسی می شوند.

## روش های ریخته گری :

به علت نقطه ذوب پایین اکثر روش های ریخته گری برای آلیاژهای Al بکار می روند. در انتخاب روش ریخته گری سه عامل تاثیر دارد :

۱- کیفیت مورد نیاز : هدف ما تولید قطعات تضمین یافته است ، لازمه تولید قطعه با کیفیت هزینه بالاست.

۲- محدودیت های فنی : نمی توان برای یک قطعه سرمایه گذاری عظیم کرد بلکه باید با توجه به امکانات موجود قطعه را تولید کرد.

۳- ملاحظات اقتصادی : بررسی سود و زیان برای تولید قطعه با کیفیت در رقابت با سایر واحدها.

## روش های ریخته گری کورد استفاده عبارتند از :

۱- ریخته گری در ماسه : برای تولید قطعات سنگین تا چند تن با تیراژ تولید قطعه تا چند هزار قطعه ، با وجود ریخته گری در ماسه این تیراژ امکان پذیر شده است.

۲- ریخته گری در قالب فلزی ( دائمی - قالب ریژه ) : قطعات ریختگی متوسط ( تا حدود ۱۰۰kg ) با تیراژ ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ قطعه . ریخته گری تحت فشار کم ( LPDC: low pressure Diecasting )

۳- ریخته گری تزریقی تحت فشار بالا HPDC ( دایکاست ) : این تکنولوژی موجب تولید بالا در قطعات Al شده است . قطعات کوچک تا ۵۰kg تولید می شوند : مثال تولید بلوک سیلندر پژو با وزن ۲۳-۲۴kg با سیستم راهگامی. تیراژ تولید در این روش بالاتر از ۱۰۰۰۰ قطعه تا ۱۰۰۰۰۰۰ قطعه.

۴- ریخته گری دقیق : برای قطعات بسیار ریز

۵- فوم ( Foam casting-Lost foam ) : با استفاده از این روش سرعت بالا می رود.

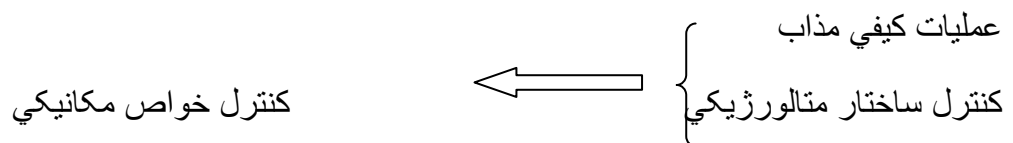
۶- ریخته گری در قالب گچی

۷- ریخته گری در قالب سرامیکی

۸- ریخته گری گریز از مرکز ( سانتریفوژ )

۹- روش های نوین : Squiz Casting رینگ خودرو

### Semi Solid Metal Casting



### جلسه سوم

الف) عملیات کیفی مذاب آلومینیوم

ب) کنترل ساختار متالورژیکی

-کوره های ذوبی که برای آلیاژهای Al بکار می رود : کوره القایی- کوره های گردان- بوته ای ( با سوخت های متفاوت ) ، مقاومتی، تشعشعی.

-چون کوره القایی فیلم اکسیدی سطح را می شکند و در داخل می برد برای آلومینیوم مناسب نیست. ولی سرعت ذوب بالایی دارد. ولی مناسب ترین کوره برای ذوب Al کوره مقاومتی است و اگر این ذوب در Vacuum باشد بسیار بهتر است.

مواد اولیه : استفاده از شمش های کارخجیات - برگشتی ها و قراضه ها

حتی تحت شرایط بهینه و مطلوب ذوب و نگهداری مذاب Al به سه نوع کاهش کیفیت حساس است :

۱- جذب گاز : با گذشت زمان در درجه حرارت خاص جذب هیدروژن داریم که تا حد تعادلی پیش رود.

۲- اکسیداسیون : با گذشت زمان در درجه حرارت خاص پدیده اکسیداسیون داریم.

۳- تلفات : عناصر قلبیایی یا قلبیایی خاکی ، اکثر اینها فشار بخار بالایی دارند و واکنش پذیری شدید دارند در نتیجه ممکن به صورت مستقیم دچار کاهش یا تلفات شوند.  $St, K, Na, Mg$   
-تلاطم و بهم زدن مذاب یک عامل منفی است.

-هرگونه افزایش درجه حرارت باعث توسعه اکسیداسیون می شود و همچنین جذب گاز و اتلاف عناصر.

-در آلیاژهای Al از فوق ذوب زیاد باید اجتناب کرد. این عامل باعث انتقال حرارت کم می شود و :

(۱) فوق ذوب زیاد باعث کاهش سرعت انجماد شده و گرمای اضافی به آرامی از قالب خارج شده در نتیجه دانه ها درشت تر و ساختار ضعیف ایجاد می گردد.

(۲) در دماهای بالا Al به سهولت با بخار آب واکنش نموده و اکسید Al و هیدروژن تشکیل می دهد. این گاز ( $H_2$ ) در فلز مذاب حل شده و در هنگام انجماد با کاهش درجه حرارت از میزان حلالیت هیدروژن کاسته شده و هیدروژن بصورت مولکولی در فضاها بین دندریتی ایجاد مک و تخلخل می شود.



**حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیوم و اثر آن در تشکیل مک های گازی :**

H تنها گازی است که قابل حل می باشد و به دلیل آنکه حلالیت آن در حالت جامد بسیار کم است . گازهای خارج شده در حین انجماد به صورت مک و تخلخل در قطعه ریختگی ظاهر می شود و خواص مکانیکی را به شدت کاهش می دهد . حلالیت هیدروژن در Al مطابق قانون زیورت مستقیماً متناسب با ریشه دوم فشار جزئی هیدروژن می باشد

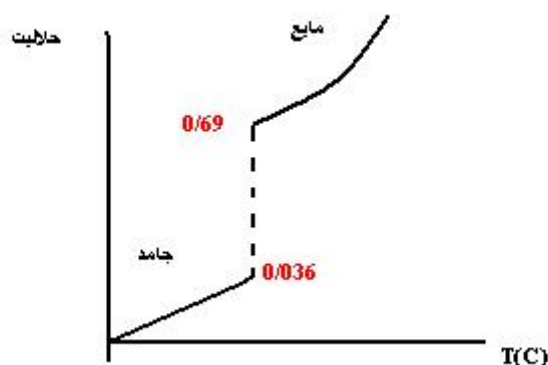
$$M = k\sqrt{P_{H_2}}$$

m : مقدار هیدروژن حل شده  $P_{H_2}$  : فشار جزئی هیدروژن

حلالیت هیدروژن در مذاب Al با درجه حرارت تغییر می کند که طبق رابطه گرنت به صورت زیر است

$$\text{Log}S = \frac{-2550}{T} + 2/62 \quad \leftarrow \text{Grant برای Al خالص}$$

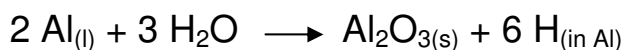
S : حلالیت هیدروژن T : دما بر حسب کلوین



آلیاژهایی مثل Al که اختلاف شدید حلالیت بین فاز جامد و مذاب دارند عمدتاً با مساله مک و تخلخل روبرو هستند.

همانگونه که عناصر آلیاژی در چگونگی فعل و انفعالات شیمیایی و افزایش یا کاهش اکسیداسیون مذاب موثر می باشند همچنین این عناصر در میزان حلالیت گاز هیدروژن در مذاب نیز موثرند به عنوان مثال مس و سیلیسیم حلالیت هیدروژن را در مذاب Al کاهش داده و در عوض منیزیم این حلالیت را افزایش می دهد .

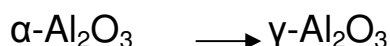
منابع ورود هیدروژن به مذاب :



۱- یکی از منابع ورود هیدروژن واکنش مذاب Al با بخار آب یا به عبارتی تجزیه  $\text{H}_2\text{O}$  به هیدروژن که به راحتی در شرایط ذوب انجام می گیرد.

۲- وجود هرگونه تلاطم در سطح مذاب و شکستن فیلم اکسید Al محافظ در سطح مذاب باعث توسعه این واکنش می گردد.

این فیلم اکسیدی تا  $930^\circ\text{C}$  خاصیت محافظتی دارد و بعد از آن تغییر آوارویی می دهد و اکسیداسیون افزایش می یابد.



۳- سایر منابع اتمسفر کوره است . به عنوان مثال میزان حلالیت هیدروژن در تابستان که گرم و مرطوب است با زمستان که خشک است متفاوت است. هوا در  $26^\circ\text{C}$  دارای رطوبت نسبی دارای  $65\%$  حاوی  $16 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$  آب است.

۴- از منابع دیگر فلاکس ها : فلاکس را به اهداف مختلف اضافه کرده که در ریخته گری اضافه می شود. عمدتاً نمک های جاذب رطوبتند در نتیجه هنگامی که این ها را به مذاب اضافه می کنیم امکان افزایش هیدروژن وجود دارد. برای رفع آن ، باید در بسته بندی ، انبار کردن آنها دقت شود و

همچنین توصیه می شود این ها را در کنار کوره حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد پیش گرم کنیم که رطوبت آن خارج شود.

۵-بوته ها : به خصوص بوته های نو همیشه مقداری رطوبت در خلل و فرج سطحی خودشان دارند که باز پیش گرم توصیه می شود.

۶-مواد نسوز و دیرگداز هم معمولاً دارای مقداری رطوبت اند که باز با پیش گرم باید آنرا خارج کرد.

۷-گازهای ناشی از احتراق : که بهترین منبع ورود هیدروژن به مذاب اند. محصول احتراق اغلب سوخت ها حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد بخار آب است به عنوان مثال گاز طبیعی بازای سوختن هر مترمکعب حدود دو متر مکعب بخار آب تولید می کند . برای به حداقل رساندن جذب هیدروژن توصیه می شود از شعله کمی اکسیدان استفاده شود . اگر شعله زرد باشد احیایی و اگر آبی باشد اکسیدی است.

۸-ابزارآلات ریخته گری : ملاقه ، پاتیل، پلانجر ، باید پیش گرم کرد و پوشش داد.

۹-مواد شارژ : شمش ها، قراضه ها، برگشتی ها که آغشته به روغن و گریس اند.

## جلسه چهارم

### مک های گازی و انقباضی

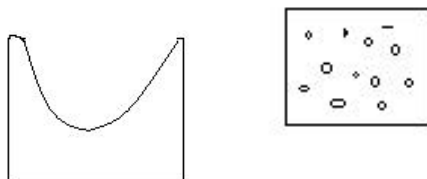
مک مهمترین عیبی است که در قطعات ریختگی یافت می شود و عامل برگشت دادن قطعات است . به طور کلی ریخته گران مک ها را به دو دسته گازی و انقباضی تقسیم می کنند. به طور کلی اکثر مک ها تلفیقی از مک های گازی و انقباضی است.

مک های انقباضی :

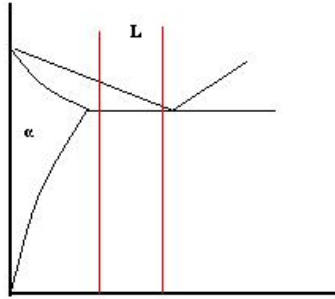
$L + S \longrightarrow 4-6 \text{ vol}\%$  ( کاهش حجم) انقباض

این کاهش حجم در قطعه خودش را به صورت مک نشان میدهد.

مک  
} متمرکز  
} پراکنده



عیب مک انقباضی در آلیاژهای با دامنه انجمادی طولانی مطرح است و مهمتر است.



### مک های گازی :

به علت محبوس شدن حباب گازی در حین انجمادات که بیشتر به گاز هیدروژن مرتبط می شود. جوانه زنی حباب هیدروژن در مذاب Al فرآیند بسیار مشکلی است و نیاز به میزان زیادی هیدروژن حل شده دارد. ( جوانه زنی هموزن اینها مشکل است ولی به دلیل آخال ها هتروژن جوانه می زند) اکثر مک ها تلفیقی از گازی و انقباضی اند و مک ها عمدتاً در مناطق بین دندریتی تشکیل می شوند. عمدتاً مک های گازی و انقباضی در انتهای انجماد تشکیل می شوند. با تشکیل و رشد شبکه دندریتی گاز هیدروژن به مذاب بین دندریتی پس زده می شود و در آخر انجماد به صورت مک باقی می ماند. مک های گازی عمدتاً به شکل کروی است. مک های انقباضی به شکل کروی است.

اگر قطعه ای را بشکنیم و نگاه کنیم مک های گازی دارای سطح برافند.

$$P_i \geq P_{atm} + P_h + \frac{Z\gamma}{r}$$

$$P_i = P_s + P_g$$

$P_i$  : فشار داخلی  
 $P_{atm}$  : فشار اتمسفر  
 $P_h$  : فشار متالواستاتیکی  
 $Z\gamma$  : تنش سطحی

$r$  : شعاع مک حباب

$P_g$  و  $P_s$  این عوامل در مراحل نهایی انجماد بسیار حائز اهمیت هستند یعنی در جایی که مقادیر زیادی هیدروژن در فضاهای مذاب بین دندریتی به دلیل کاهش حلالیت هیدروژن در حالت جامد تجمع می یابد همچنین در انتهای انجماد به واسطه انقباض ناشی از انجماد که با کاهش حجم مواجه می باشد و همچنین عدم مذاب رسانی صحیح به این فضاهای انقباضی دچار تشکیل مک های انقباضی می شویم. حضور اکثر آخال ها و ناخالصی ها می تواند زمینه ای برای جوانه زنی مک و تخلخل باشد یعنی آخال ها و ناخالصی ها به تشکیل مک و تخلخل کمک می کنند. به طور کلی مذاب های کثیف باعث ایجاد قطعات متخلخل و مک دار می شود.

هرچه درصد هیدروژن افزایش یابد مک و تخلخل زیاد می شود.

هرچه درصد تخلخل زیاد شود باعث افت خواص مکانیکی می شود.

## گاز زدایی :

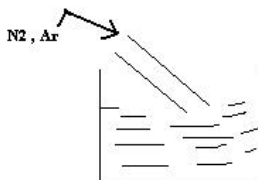
تکنیکی است که در حذف مک ها حائز اهمیت است. در مذاب آلیاژهای AI هیدروژن تنها گازی است که به صورت محلول در مذاب است و در قطعه جامد شده به صورت مک خودش را نشان می دهد در نتیجه حذف هیدروژن از مذاب حائز اهمیت می باشد. روش هایی که برای گاززدایی از آلیاژهای AI استفاده می شود سه گروه است :

- ۱- دمش گاز ( نوب در خلا)
- ۲- استفاده از گاز زدهای فلاکس جامد
- ۳- گاززدایی از طریق مخلوط کردن مکانیکی

### روش اول ( دمش گاز ) :

دمش گازهای بی اثری مثل Ar و N<sub>2</sub> باعث می شود فشار نسبی داخلی افزایش پیدا کرده و هیدروژن از سیستم خارج شده و از حلالیت آن کاسته شود.

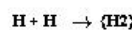
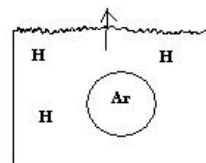
مکانیزم خروج هیدروژن :



- ۱- افزایش فشار داخلی سیستم
- ۲- جوانه زنی حباب هیدروژن روی همین حباب های گاز خنثی

این فرآیند جوانه زنی و رشد است و با نفوذ کنترل می شود.

هم واکنش های جوانه زنی و رشد از طریق دیفیوژن کنترل می شود.



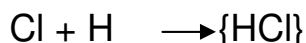
برای خروج گاز یا فشار داخلی را افزایش می دهیم و یا فشار خارجی را کم می کنیم.

به عنوان مثال با ایجاد خلا نسبی (psi ۰/۰۰۱) باعث کاهش فشار خارجی بر روی مذاب می شود در نتیجه از حلالیت هیدروژن به نسبت زیادی کم می شود. (VIM)

یکی از مزایای کاهش حلالیت گاز است.

مزیت دوم این است که از اکسیداسیون و سایر ترکیبات و اکسیدی کاسته می شود. تمیز بودن مذاب و کاهش سرباره هم مزیت آن است.

اختلاف بین تکنیک های مختلف گاززدایی به نوع گاز ، اندازه حباب ، نحوه توزیع گاز خنثی در مذاب بستگی دارد. موثرترین گاز زدا گاز کلر Cl بود که اکنون ممنوع شده است.



ولی درصدهای کم آن مصرف می شود.

موارد مصرف در صنعت

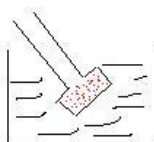
99% Ar-1% Cl<sub>2</sub>

90% Ar- 10% Cl<sub>2</sub>

90% N<sub>2</sub>- 10% Cl<sub>2</sub>

70% N<sub>2</sub> – 30% Cl<sub>2</sub>

حباب های با قطر ۲-۳ سانتی متر راندمان بالایی دارند.



از سرهای گرافیتی متخلخل برای ریز کردن این حباب ها استفاده می شود.

**روش دوم ( استفاده از گاز زدهای فلاکس جامد ) :**

در این روش از قرص های گاززدا که مواد شیمیایی اند و حاوی کلر ( هگزاکلرواتان C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> ) این قرص های دگازور در تماس با مذاب و در معرض حرارت تجزیه شده ، گاز کلر ایجاد می کنند که گاز کلر می تواند هیدروژن را از مذاب خارج نماید.

خیلی توصیه نمی شود چون :

۱-سرباره و شراکه زیادی تولید کرده.

۲-گازهای بدبو و مضر را در سیستم پراکنده می کند.

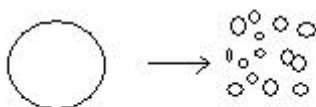
نگهداری این قرص ها مهم است چون جذب رطوبت می کنند که این هم منسوخ شده است.

**روش سوم ( گاززدایی از طریق مخلوط کردن مکانیکی ) :**

این روش یک روش مکانیکی است . راندمان گاززدایی بسیار بالاست .

**Rotary gas injection system**

گاز خنثی از طریق یک ستون یا شفت چرخنده از طریق روزنه های ریز در قسمت انتهایی روتور به مذاب تزریق می شود ریال سرعت چرخش روتور حدود ۳۰۰-۵۰۰ rpm است. باعث ایجاد





حباب هاي گازي بسيار ريز با توزيع گسترده جهت گاززدايي فراهم مي آورد. کسر حجمي گاز ثابت است ولي نسبت  $\frac{\text{سطح}}{\text{حجم}}$  حباب ها را افزايش مي دهيم.

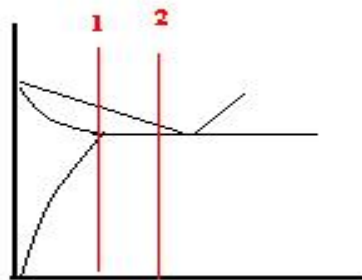
سرعت واکنش افزايش يافته چون فاصله نفوذ گاز H کاهش مي يابد و راندمان افزايش مي يابد.

پارامترهاي Q،t،T-rpm (دبي ورود گاز) در اين فرآيند مهم است.

### جلسه پنجم

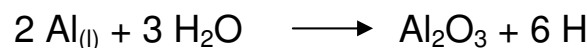
سوال : آلياژ ۱ نسبت به ۲ مک هاي انقباضي بيشتري دارد ولي ممکن است مک هاي گازي آنها يکسان باشد .

-آلياژي با ترکيب اوليه يوتکتیک و مذاب منجمد شده در مرحله آخر و فضاي بين دندريتي متفاوت است چون کسر حجمي گاز محلول در يوتکتیک بين دندريتي خيلي بيشتري است بنابر اين در اين يوتکتیک مک گازي تشکيل خواهد شد.



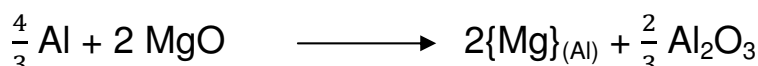
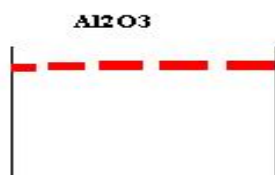
### اکسیداسيون ( آخالها ) Nonmetallic inclusions

Al براحتي در درجه حرارت مذاب اکسيد مي شود و لايه اکسيد بر روي سطح مذاب تشکيل مي شود اين لايه اکسيد نقش حفاظت از مذاب را عهده دار مي باشد.



Al از طريق انجام اين واکنش با بخار آب موجود در اتمسفر هوا براحتي تشکيل آخال  $\text{Al}_2\text{O}_3$  را مي دهد .

سايير منابع آخال ها : قراضه ها و برگشتي ها ، عمل انتقال متلاطم مذاب ، به هم زدن پيايي مذاب ، انجام واکنش هاي آلومينوترمیک با اکسيدهاي ساير فلزات مثلا با اکسيد آهن ، اکسيد سلسيم ، اکسيد منيزيم



### آخال زدایی ( فلاکس ها )

فلاکس ها عمدتاً نمک های شیمیایی هستند. این ها می توانند جامد، گازی باشند ولی عمدتاً حاوی ترکیبات کلر، فلئور، کلراید و یا فلوراید هستند. هدف از فلاکسینگ این است که فصل مشترک مذاب و اکسید دوباره مرطوب و آغشته گردد تا موجب جداسازی موثر اکسیدها شود در اثر عملیات فلاکسینگ اکسیدها ( آخال ها ) به اینگونه نمک ها متصل می شوند و چون چگالی کمتری پیدا می کنند به سطح مذاب شناور شده و مورد سرباره گیری قرار می گیرند. نمک ها به دو صورت عمل می کنند یا به صورت مکانیکی یا به صورت شیمیایی

Flux } ۱- فلاکس های انفعالی Passive Flux ( فلاکس های پوششی Coveral FL )  
 ۲- فلاکس های فعال active Flux ( فلاکس های تمیزکننده Cleaning FL )

فلاکس های پوششی عمدتاً بر روی سطح مذاب قرار می گیرند و نقش حفاظت از سطح مذاب را دارند که نه آخال و نه جذب گاز انجام شود. اما فلاکس های فعال نقش انجام واکنش با آخال را دارند و حذف و خارج سازی آن از سیستم .

ما بیش از ۱۵۰ نوع ترکیب فلاکس را در صنعت متالورژی Al داریم و اکثر آنها بر پایه NaCl و KCl استوار است. نمک هایی دیگر به این اضافه میشود : NaF, CaF<sub>2</sub>, AlF<sub>3</sub>, AlCl<sub>3</sub>

### ۱- فلاکس های پوششی :

عمدتاً نمک هایی اند که بر روی سطح مذاب پاشیده می شوند و به صورت لایه ای از مذاب بر روی مذاب Al تشکیل شده و نقش حفاظت از مذاب Al را بازی می کنند . مشخصه عمده این فلاکس ها :

-باید دارای نقطه ذوب پایین ( پایین تر نقطه ذوب Al )

-نقطه تبخیر بالاتر از درجه حرارت مذاب آلومینیوم

-وزن مخصوص کم که باعث می شود به صورت مذاب در سطح مذاب Al قرار بگیرد.

برای الیاژهای حاوی منیزیم عمدتاً فلاکس های بر پایه کلرید منیزیم توصیه شده است.

## ۲- فلاکس های تمیزکننده :

فلاکس های تمیزکننده جهت خارج سازی اکسیدآلومینیوم از مذاب مورد استفاده قرار می گیرد. ماده اصلی این فلاکس ها فلوروسیلیکات سدیم  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  .

این ماده از طریق انجام یک واکنش شیمیایی به صورت ذیل :



باعث ایجاد ترکیبات با چگالی کمتر شده آن را به سرباره کشیده و می توانیم سرباره گیری کنیم. علاوه بر این تحقیقات نشان داده است که فلوروسیلیکات سدیم می تواند از طریق مکانیکی نیز باعث جداسازی آخال ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) از سیستم گردد.

## مکانیزم :

$\text{Na}_2\text{SiF}_6$  می تواند در اثر انرژی سطحی فصل مشترک بین  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و آلومینیوم داخلی را می پوشاند به طوری که اکسیدآلومینیوم از طریق  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  ایزوله شده و به روش مکانیکی به سرباره می رود.

فلوروسیلیکات سدیم از دو روش عمل می کند :

(۱) روش واکنش فوق

(۲) روش مکانیکی که آخال را متلاشی می کند و به سطح می برد.

## برخی از مشکلات ناشی از استفاده فلاکس :

۱- **تشکیل آخال :** اگر عمل شناور سازی و بالا آمدن فلاکس به سطح مذاب صورت نگیرد امکان باقی ماندن ترکیبات شیمیایی و آخال ها در مذاب وجود دارد. این عمل نیازمند زمان شناورسازی می باشد که با عمق حمام مذاب و ابعاد کوره تغییر می کند همچنین درجه حرارت مناسب برای شناورسازی فلاکس بسیار حائز اهمیت است ، توصیه می شود دما را بین  $750 - 780^\circ\text{C}$  انتخاب نمود علت این است که مذاب سیالیت بالاتری داشته و آخال ها راحت تر به سطح مذاب شناور می گردند. حضور آخال ها باعث افت خواص مکانیکی همچنین باعث ایجاد مک و تخلخل می شود.

## ۲- واکنش بین فلاکس – آمیزان ( آلیاژساز ) Master Alloy

چون فلاکس ها از عناصر فعال و واکنش زا تشکیل شده اند تظیر : فلئور ، کلر و .... می توانند از طریق شیمیایی با آمیزان ها که برای اهداف دیگری به آلیاژ اضافه شده اند وارد واکنش شوند و اثرات آنرا متفعل نمایند. ( بی اثر کنند) به عنوان مثال Sr برای بهسازی سیلیسیم یوتکتیک به مذاب اضافه می شود چنانچه فلاکس با استرانسیم وارد واکنش شود تولید  $\text{SrCl}_2$  و  $\text{SrF}_2$  می کند. در این حالت استرانسیم نمی تواند به صورت بهساز عمل کند.

تقابل fluxing و Modification

تقدم این دو روش :

اول فلاکسینگ ، زمان می دهیم تا آخال ها شناور شوند و سرباره گیری می کنیم و بعد از آن Modification را انجام می دهیم.

### ۳- جذب هیدروژن :

اکثر فلاکس ها حاوی نمک های شیمیایی هستند که شدیداً جاذب رطوبت هستند. در نتیجه اگر دقت صورت نگیرد در مصرف آنها امکان افزایش هیدروژن و جذب گاز وجود دارد . یک راه پیش گرم کردن آنها و راه دوم انبارداری آنها در محفظه پلمپ شده است.

### ۴- دور ریختن فلاکس و محصولات حاصله :

عمل دور ریختن فلاکس ها یک مشکل اساسی برای محیط زیست است در نتیجه کوشش های زیادی از طریق صنایع صورت می گیرد تا از اینگونه فلاکس ها و یا محصولات آنها استفاده مجدد شود. (Recycle) از این طریق اثرات تخریبی آنها حذف و یا به حداقل برسد.

-اگر با تمام این ترندها نتوانیم فلاکس ها را خارج کنیم از فیلتریشن استفاده می کنیم.

### جلسه ششم

### تصفیه یا فیلتر کردن filtration

ناخالصی ها ( آخالها) باعث ایجاد مشکلاتی در تولید قطعات ریختگی می شود از جمله ، افت خواص مکانیکی ، سطوح تراشکاری شده ضعیف ، افزایش مک و تخلخل ، افزایش خوردگی در قطعات می شوند . فرآیند فیلتر کردن عبارت است از : عبور مذاب آلومینیوم از یک وسیله متخلخل ( فیلتر) برای به تله انداختن آخال های موجود در مذاب .

**ویژگی های فیلتر :** دیرگدازی بالا – مقاومت به شوک حرارتی بالا – مقاومت به سایش و خوردگی داشته باشد.

انواع و منشا آخال ها :  
منشا خارجی }  
منشا داخلی }

**خارجی :** مثل شکستن دیواره بوته و یا ماسه شویی و داخل مذاب می شود شامل آلومینا ، سیلیس ، کاربید سیلیسیم . اندازه ذرات می تواند بین ۱ μm-mm باشد.

**داخلی :** ناشی از واکنش های شیمیایی مثل : واکنش فلاکس ها ، جوانه زها ، بهسازها با مذاب .

**انواع فیلترها :** فیلترهای اولیه از فایبرگلاس تهیه شده بود . همراه با سیم های مشبک فولادی که در سیستم راهگهی قرار می دادند و به صورت الک عمل می کرد . این مکانیزم برای خارج سازی کلیه آخال ها موفق نبود و فقط آخال های بزرگ را جدا می کرد .

**Bed Filter (بستر فیلتر) :** برای ریخته گری مداوم آلومینیوم

در این روش یک سري گلوله آلومینايي در یک ایستگاه قرار دارد و آخال ها درحین عبور از آن حبس مي شوند . این روش برای کارخانجات تولید AI مناسب است . برای قطعه ريزي از نوع سوم فیلتر استفاده مي شود.

**Foam Filter** : از جنس سرامیک مثل آلومینا . این فیلترها حدود %۹۰-۸۵ تخلخل باز دارند. هرچه این درصد بیشتر باشد فیلتر بهتر است. تخلخل بسته نقشي در تصفیه ندارد.

این فیلترها باید سبک باشند. ۱۵-۳۰ Ppi

فیلتر علاوه بر حذف آخال ها باعث ایجاد جریان آرام مذاب در قالب مي شود.

**کنترل ساختار متالورژیکی** : تعدادي از عوامل که در کنترل ساختار متالورژیکی قطعات ریختگی AI دخالت دارند عبارتند از : فاصله بازوها **Dendrite Arm Spacing** ، اندازه دانه ها ، فازهاي ریزساختاري مثل سیلیسیم یوتکتیک ، فازهاي بین فلزي

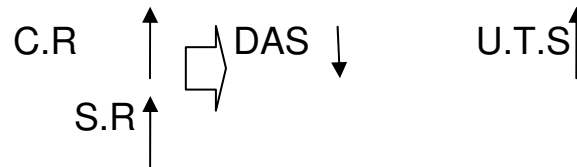
به طور کلي در فرآیندهاي ریخته گري عمل انجماد با تشکیل دندريت ها آغاز مي شود و شبکه شاخه اي دندريتي کل قطعه را فرا خواهد گرفت. دندريت ها توسط سرعت انجماد کنترل مي شوند.

$$DAS = f(\text{Solidification Rate})$$

$$= f(\text{Cooling Rate})$$

$$= f(t_f)$$

S.R : میزان پیشروي جبهه انجماد



### ریزدانگی

به طور کلي هرچه ساختار دانه هاي ریز و هم محور داشته باشیم خواص مکانیکی بهبود مي یابد در نتیجه نوع و اندازه دانه هاي تشکیل شده از طریق ترکیب شیمیایی آلیاژ – سرعت انجماد و افزودن مواد جوانه زا ها قابل کنترل مي باشد.

دانه ها : ۱-۱۰ mm

DAS : ۱۰-۱۵۰ μm

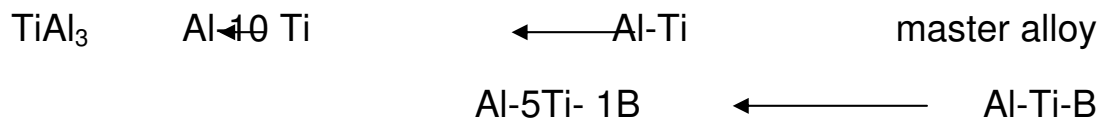
سیلیسیم یوتکتیک بصورت کروي < ۱ μm

بصورت صفحه اي تا ۲ mm

### خواص ریزدانگی

استحکام بالا – تراشکاری بهتر و صافی سطح مناسب تر – بهبود نشت پذیری ( نشت پذیری کمتر )  
 – بهبود عملیات حرارتی پذیری – مقاومت به ترک گرم افزایش می یابد – بهبود خاصیت مذاب  
 رسانی و تغذیه

عمل ریزدانه‌گی توسط افزودن جوانه زها انجام می شود که همان مواد آمیزان ( آلیاژ ساز )

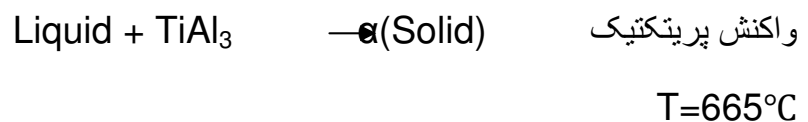


این جوانه زها به صورت تکه های کوچک و یا به صورت پودر به مذاب اضافه می شود و با ایجاد ترکیبات فوق نقش جوانه زایی را انجام می دهد. Ti و B نقش مهمی در جوانه زنی Al دارد و نقش B قوی تر است.

### جلسه هفتم

### مکانیزم ریزدانه‌گی grain Refinement

به طور کلی تئوری صد در صد قابل قبولی در ارتباط با مکانیزم ریزدانه‌گی هنوز مورد تایید قرار نگرفته است اما یکی از تئوری هایی که بیشتر رجوع می شود بحث جوانه زنی با استفاده از ذرات  $\text{TiAl}_3$  است. که می تواند محلی برای جوانه زنی کریستال های Al باشد. که شباهتی با کریستالوگرافی Al دارد. ذرات جوانه زها در آخرین لحظات بارریزی اضافه می شود تا حل نشود.



به محض تشکیل Al اولیه که ذرات  $\text{TiAl}_3$  را احاطه می کند می تواند مکان هایی باشد برای ادامه رشد یعنی اتم های Al از مایع به این جامد ملحق می گردند.

واکنش پریتهکتیک هیچگاه بطور کامل انجام نمی شود چون ارتباط به مواد اولیه قطع می شود. مثل اینجا ارتباط بین  $\text{TiAl}_3$  و فاز مذاب با  $\alpha$  قطع شده است و این جوانه زها از بین نمی روند و می توان با مقطع زدن و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی جوانه زها را دید.

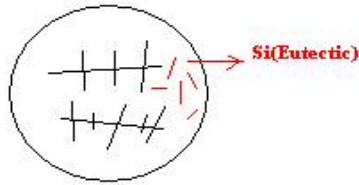
توزیع این جوانه زها خیلی حائز اهمیت است ، تعداد ، اندازه هم همینطور.

اندازه نهایی دانه ریختگی کاملا مرتبط با آمیزان اولیه است . هرچه ذرات  $\text{TiAl}_3$  ریزتر باشد برای این منظور مفیدتر است.

تا یک زمانی آمیزان ها می مانند و بعد از آن حل شده است.

مقدار Ti در حد  $\text{Ti} < 0.1\%$  ( $\text{Ti} = 0.02\%$ ) که طبق فاز دیاگرام باید انتظار حل شدن را داشته باشیم.

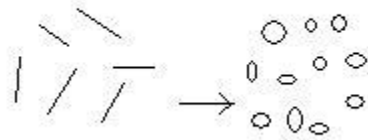
## اصلاح و بهسازی سیلیسیم یوتکتیک :



در آلیاژهای ریختگی اندازه دانه خیلی مهم نیست و حرف اول را بهسازی و Modification می زند و در آلیاژهای نوردی حرف اول را ریزدانی می زند. سیلیسیم یوتکتیک شبه فلز بوده و سختی و استحکام بالایی دارد.

بهسازی سیلیسیم یوتکتیک مثل کروی کردن گرافیت از چدن خاکستری به داکتیل است که خواص مکانیکی افزایش می یابد.

Modification یعنی تغییر شکل فاز سیلیسیم یوتکتیک از حالت سوزنی شکل و خشن به حالت کروی و رشته ای است.



عناصر بهساز Sb-Sr-Na است.

روش های بهسازی و اصلاح سیلیسیم یوتکتیک :

### ۱-انجماد سریع Rapid Solidification

این روش یا (quench Mod) هیچ گونه افزودن شیمیایی اضافه نمی شود و تمام اجزای ساختاری از جمله Si یوتکتیک ریز خواهد شد.

### ۲- عملیات حرارتی Heat Treatment Mod

عملیات محلولی + کونچ + پیرسازی

### ۳- افزودن عناصر اصلاح کننده شیمیایی ( سدیم - استرانسیم - انتیموان و ..... ) Chemical Mod

از روش سوم بیشتر از همه استفاده می شود. عناصر مورد استفاده عناصر گروه اول و دوم جدول تناوبی است به مقدار ۰/۰۲-۰/۰۱٪ اضافه می شود.

## مکانیزم اصلاح و بهسازی

۱- بر اساس جوانه زنی 1960 Mondalfo

۲- بر اساس رشد Hellawell

۱- جوانه زنی سیلیسیم بر روی ذرات فسفید آلومینیوم AIP صورت می گیرد چون AIP ساختار کریستالی بسیار نزدیک به سیلیسیم دارد در نتیجه AIP ترکیب بین فلزی موثر برای جوانه زنی سیلیسیم است. در آلیاژهای آلومینیوم ، سیلیسیم به مقدار کافی فسفر وجود دارد البته کم است ولی کافی است تا مقادیر فراوانی AIP را تولید کند ( بیش از حد نیاز) در نتیجه این امر یعنی حضور ذرات AIP منجر به جوانه زنی سیستم یوتکتیک در مادون انجمادهای خیلی کم یعنی کمتر از  $2^{\circ}\text{C}$  می شود در نتیجه باعث تشکیل تیکه های Si سوزنی خشن می شود. اصلاح کننده ها اثر فسفر را خنثی می کنند یعنی جوانه زنی از طریق AIP را حذف می کند و باعث می شوند که مادون انجماد برای جوانه زنی Si افزایش یافته و ساختار رشته ای ، گلوله ای بدست آید . علاوه بر مکانیزم فوق الذکر مکانیزم دیگری وجود دارد .

در این تئوری رشد سیلیسیم از طریق پدیده دو قلوئی یا twinning صورت می گیرد. با استفاده از اصلاح کننده هایی نظیر Sr و Na این عناصر بر روند رشد سیلیسیم اثر گذاشته و باعث افزایش تعداد دو قلوئی ها می شوند همچنین باعث خم شدن و شکستن و چند تکه شدن سیلیسیم در هنگام رشد می شوند و باعث ایجاد مورفولوژی رشته ای و گلوله ای می شوند. Sr تعداد دو قلوئی ها را در واحد حجم زیاد می کند.



Sr را بصورت آمیزان های Al-90%Sr ، Al-10%Sr ،  $T=680-750^{\circ}\text{C}$  اضافه می کنیم. زمان مناسب و مطلوب برای حل شدن Al-Sr حدود ۵-۱۵min است. مقدار وارده Sr  $0.02\% - 0.01\%$  است.

آلیاژهایی که Si کم دارند از مقادیر کم آمیزان استفاده می شود.

الیازهایی که Si بالا دارند از مقادیر زیاد Sr استفاده می شود.

راندمان استفاده از Sr بالاست بالای  $90\%$  است یعنی خیلی موثر است.

سدیم Na : را به صورت خالص اضافه می کنیم . در قوطی های Al کوچک تحت خلا بسته بندی شده تا واکنش و سوختن نداشته باشد. در نتیجه کنترل میزان سدیم در مذاب بسیار مشکل است.

بازیابی Na در مذاب ضعیف است .  $20\% <$  راندمان

همین مقدار Na از Sr موثرتر است .

اگر مقدار Na  $0.01\% - 0.05\%$  داشته باشیم در مذاب ساختار کاملاً اصلاح است . سدیم خیلی کم است و زود از بین می رود و برای محیط زیست هم ضرر دارد. اکنون Sr بهترین بهساز در دنیاست.



## جلسه هشتم

### آلیاژهای آلومینیوم از دیدگاه متالورژیکی فیزیکی :

آلیاژهای Al از پر مصرف ترین آلیاژهای مهندسی هستند و بدلیل نسبت استحکام به وزن مخصوص خوب کاربردهای صنعتی زیادی دارند.

Al } ۱- عملیات حرارتی پذیر H.T  
2- عملیات حرارتی ناپذیر Non-H.T

در آلیاژهای غیر آهنی منظور از عملیات حرارتی Precipitation hardening و Solutionizing است.

Al } ۱- ریختگی Casting  
2- نوردی Wrought ( یعنی همه فرآیندهای شکل دادن شامل : فورج ، نورد ، اکستروژن و .... )

آلیاژهای ریختگی هم می تواند H.T و هم Non H.T باشد همینطور در مورد نوردی.

Non HT: Al-Si      Al-Mg      Al-Mn

### آلیاژهای نوردی :

استاندارد A.A آمریکایی

1XXX: Al      خالص Al 99.60% → 1060 مثل

2XXX : Al-Cu      عملیات حرارتی پذیر (  $CuAl_2$  رسوب استحکام بخشی )

2024      0/8% Mn, 1/5% (Cu, Mg)

3XXX : Al-Mn      عملیات حرارتی ناپذیر

12%Mn → 3003, 3004

4XXX : Al-Si      4032      Al و ۱۲% Si و ۱% Mg یا Ni یا Cu

5XXX : Al-Mg      عملیات حرارتی ناپذیر

5052: 2/5% Mg+ 0/5% Cr

5056: 5/2% Mg + 0/5 % Cr + 0/1% Mn

5186: 4/5% Mg + 0/5 % Cr + 0/8 % Mn

منگنز استحکام آلیاژ را بالا می برد . کروم نقش جوانه زا و ریزکننده دانه ها دارد.

6XXX : Al-Mg-Si (رسوب استحکام بخشی  $Mg_2Si$ )

پر مصرف ترین آلیاژ در ساختمان و قابل اکستروژن شدن 6061 ، 6063

7XXX : Al-Zn عملیات حرارتی پذیر

7075: 5/5 % Zn, 2/5 % Mg, 1/5 % Cu, 0/3% Cr سازه های هواپیمایی

8XXX : Al-Li-..... آلیاژهای جدید آلومینیوم

**آلیاژهای 3XXX Al-Mn :**

ترکیب شیمیایی :

Mn ۱/۲% (می تواند همراه با Sr ۰/۲% و Fe ۰/۶%): سختی و استحکام را افزایش می دهد.

چگونه ؟ به دو طریق }  
(الف) افزایش استحکام از طریق محلول جامد  
(ب) باعث ایجاد و توزیع رسوبات ریز و ظریف می شود.

به این آلیاژ می توانیم Mg ۱% برای استحکام بیشتر اضافه کرد.

از نظر کاربردی بیشتر مصارف و کاربرد ساختمانی دارد و عمدتاً ترکیبی مطلوب از استحکام ، شکل پذیری و مقاومت به خوردگی دارند.

**ساختار میکروسکوپی :** بعد از نورد سرد عملیات حرارتی آنیلینگ در حدود  $340^{\circ}C$  انجام می شود با این کار رسوبات ریزی نظیر  $Al_6(Fe,Mn)$  و  $\alpha(Al-Fe-Mn-Si)$  ایجاد می شود. این رسوبات که غنی از Mn هستند تشکیل می شوند که عمدتاً بر روی نابیایها جوانه می زند . در نتیجه این رسوبات عمل قفل کردن یا Pinning را انجام می دهند و از حرکت نابیایی ها جلوگیری می کنند در نتیجه باعث افزایش سختی و استحکام می شود.

**خواص مکانیکی**

UTS

آلیاژهای سری ۳۰۰ استحکام خیلی بالایی ندارند .  
۱۶ Ksi 3003

۱۲Ksi

1100

ناشی از Mg استحکام بیشتری دارد.

### آلیاژهای (5XXX) Al-Mg :

عملیات حرارتی ناپذیر هستند گرچه Mg حلالیت جامد قابل ملاحظه ای را در آلیاژهای Al دارد و همچنین در اثر کاهش درجه حرارت از حلالیت آن کاسته می شود اما آلیاژهایی که میزان Mg آن کمتر از ۷٪ باشد قابلیت عملیات حرارتی پذیری ندارند. بیشتر مصارف ساختمانی دارند.

در این آلیاژ گاهی % 1-0/1 Mn، Cr: 0/1-0/25% هم وجود دارد.

سه آلیاژ معروف این گروه : 5052-5154-5056

ساختار : منیزیم تا حدود ۳۵٪ در آلیاژهای Al-Mg به صورت محلول جامد است و بیشتر از آن رسوب  $Mg_2Al_3$  این رسوبات در عملیات حرارتی آنیلینگ حدود ۱۵۰-۱۲۰ و یا بوسیله سرد کردن آهسته از دماهای بالا تشکیل می شود. چنانچه این رسوبات به صورت مداوم در مرزهای دانه تشکیل شود ساختار نامطلوب ایجاد کرده و آلیاژ را نسبت به خوردگی تنش حساس می کند.

### خواص مکانیکی :

این آلیاژها استحکام متوسطی دارند.

UTS

18 Ksi

5005-O

45Ksi

5456-O

آلیاژهای (Al-Cu) : آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر حاوی این عناصرند

(Mg,Si) یا (Cu,Zn) یا (Cu,Ni) یا (Cu)

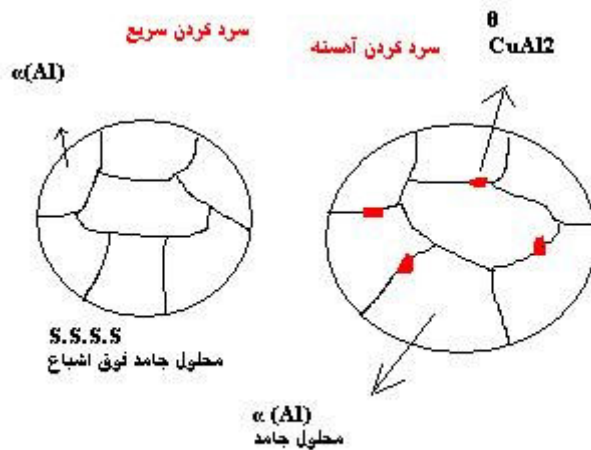
که فازهای بین فلزی ساخته و این فاز سخت در زمینه پخش می شود.

دیگرام هایی که قابلیت عملیات حرارتی و رسوب سختی دارند :

۱- باید حلالیت جامد جزئی داشته باشند.

۲- در اثر کاهش دما کاهش شدید حلالیت پیدا کند. مثل Al-Cu در دو دمای ۲۰ و ۵۴۸ درجه

اگر بعد از محلول سازی آهسته سرد شود و یا سریع سرد شود چه خواهد شد؟



### سختی

### عملیات رسوب

## ۱- انجام عملیات محلولی Solution Treatment رسیدن به تک فاز $\alpha$

باعث می شود که اتم های مس به صورت کاملاً اتفاقی در بین اتم های Al نفوذ کرده و به صورت محلول جامد حل شود.

۲- کونچینگ و سریع سرد کردن تا درجه حرارت محیط یا پایین تر از آن.

باعث ایجاد محلول جامد فوق اشباع می شود یعنی مس به صورت فوق اشباع در شبکه آلومینیوم حل می شود که ناپایدار بوده و چنانچه در معرض حرارت قرار بگیرد شروع به تشکیل فازهای نیمه پایدار می کند. این کار در مرحله سه انجام می گیرد.

۳- پیرسازی aging : در این عمل رسوب کردن فازهای نیمه پایدار انجام می شود.

<p><math>T_4</math>: Natural aging</p> <p><math>T_6</math>: Artificial aging</p>	<p>پیرسازی در دمای محیط انجام گیرد</p> <p>پیرسازی در دمای بالاتر از محیط</p>	}
		<p>درجه سانتی گراد ۱۳۰-۱۹۰</p>
<p><b>جلسه نهم</b></p>		

## فازهایی که در طی عملیات پیرسازی در آلیاژهای Al-Cu حاصل می شوند.

اگر دمای پیرسازی را کمتر انتخاب کنیم، Max دیرتر اتفاق می افتد ولی این ماکزیمم از دمای بالایی بیشتر است.

$T_4$ : در دمای ۳۰ درجه شیب بسیار ملایمی دارد و به پیک ماکزیمم در زمانهای خیلی طولانی می رسد که شاید از همه ماکزیمم ها بیشتر هم باشد.

قطعات آلومینیومی که به خصوص در هواپیما استفاده می شود باید قبل از رسیدن به پیک تعویض شود.

-ابتدا بایستی محلول جامد فوق اشباع داشته باشیم و بعد از آن چهار مرحله ممکن است اتفاق بیفتد.

۱- تشکیل مناطق GP1 ، GP Zone

۲- تشکیل مناطق GP2 ( فازهاي  $\theta$  )

۳- تشکیل فازهاي  $\theta'$

۴- تشکیل فاز تعادلي  $\theta$  (  $\text{CuAl}_2$  )

۱- مناطق GP1 در درجه حرارت پايين تشکیل مي شوند  $T < 130^\circ$  و از طريق جدایش اتم هاي مس در محلول جامد فوق اشباع تشکیل مي شوند . مناطق GP1 از دیسک هايي به ضخامت چند اتم  $4^\circ\text{A}$ - $6^\circ\text{A}$  و قطر  $100^\circ\text{A}$ - $80^\circ\text{A}$  بر روي صفحات مکعبي  $\{100\}$  زمينه  $\text{FCC,Al}$  تشکیل شده است. اين فازها با TEM مي توان مشاهده کرد.

اين رسوبات ریز و نیمه پایدار به صورت موانعي در مسیر حرکت نابجاييها قرار گرفته و باعث افزایش سختي و استحکام مي شوند. ساختار اين رسوبات تترآگونال مي باشد و هم سيما مي باشند.  
Coherent

۲- فازهاي  $\theta''$  : با ادامه روند نفوذ اتم هاي مس به سمت مناطق GP2 يا  $\theta''$  بوجود مي آید. ساختار همان تترآگونال است . هم سيماست . با همان زمينه  $\{100\}$  منطبق است . تنها تفاوت آن است که مقدار مس بیشتر است . ابعاد آن بیشتر شده است.

ضخامت  $40^\circ\text{A}$ - $60^\circ\text{A}$  قطر  $100^\circ\text{A}$ - $1000^\circ\text{A}$

۳- فازهاي  $\theta'$ : در اثر نفوذ اتم هاي مس به سمت رسوب يا در اثر Over aging ( حرارت بیشتر ) فاز  $\theta'$  تشکیل مي شود . در اینجا دو نظر وجود دارد بعضي مي گویند In Coherent و برخي مي گویند Semi-Coherent . که مي توان قطعا گفت که هم سيما نيست. اين فاز به صورت هتروژن ( ناهمگون ) به خصوص بر روي نابجاييها جوانه مي زند . اندازه فاز  $\theta'$  به زمان و دماي پيرسازي بستگي دارد . ضخامت  $150^\circ\text{A}$ - $100^\circ\text{A}$  و قطر  $6000^\circ\text{A}$ - $100^\circ\text{A}$  است.

ساختارش تترآگونال است . تا اینجا اين سه فاز meta-stable بودند.

۴- در اثر نفوذ بیشتر اتم هاي مس پيرسازي بالاي  $190^\circ\text{C}$  ما به فاز تعادلي خواهيم رسيد که کاملا غير هم سيما است . ساختار bct است. که اين فاز را مي توان زیر میکروسکوپ نوري دید. فاز  $\theta$  ممکن است طی اين مرحله تشکیل شود و راه دوم ممکن است از طریق ريخته گري ایجاد شود. ( انجماد آهسته )

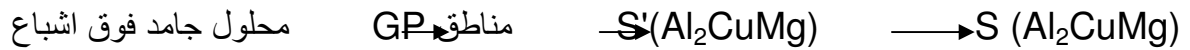
آلیاژهاي سري 2XX رسوب سختي پذيرند مثل :

2017: 4%Cu, 0/6%Mg, 0/7%Mn

2024: 4/5% Cu, 1/5% Mg , 0/6% Mn

آلیاژهاي 2024 استحکام بالايي دارد در بدنه هواپیما مورد استفاده قرار مي گیرد . آلیاژهاي اين گروه در ساخت موتور جت ، هواپیما ، پیستون و سرسیلندر هواپیما کاربرد دارند. افزودن Mg به

آلیاژهای Al-Cu باعث افزایش رسوب سختی پذیری می شود . مکانیزم همان است ولی فازها فرق می کند.



خواص مکانیکی

2024-T6 75Ksi

2014-O 27Ksi

2014-T6 70Ksi

سری 6XXX (Al-Si-Mg)

این گروه قابلیت عملیات حرارتی پذیری دارد و در این گروه منیزیم (۱/۲-۰/۶٪) و سیلیسیم (۱/۳-۰/۴٪) . فاز رسوبی Mg<sub>2</sub>Si است.

اکستروژن گرم 6061: 1%Mg, 0/6%Si, 0/2% Cr

مصارف الکتریکی (سیم و ...) 6201: 0/8% Mg, 0/7% Si

ساختار



6201-T6 : 48Ksi

6061-O : 18Ksi

6061-T6 :45Ksi

جلسه دهم

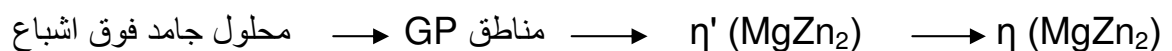
سری 7XXX (Al-Zn-Mg) و (Al-Zn-Mg-Cu)

آلیاژهای استراتژیک است . Zn: 4-8% Wt%

Mg: 1-3% Wt%

7075: 5/6% Zn, 2/5% Mg , 1/6 % Cu, 0/3% Cr

ساختار آلیاژ :



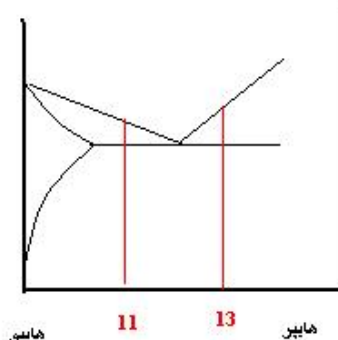
خواص مکانیکی : جزء مستحکم ترین آلیاژهای Al است .

7001: 7/4% Zn, 3% Mg, 2/1% Cu

7001(O) 37Ksi

T6 98Ksi %  $\epsilon=9\%$

7075 83Ksi % $\epsilon=11\%$



319: خودرو سازها سرسیلندر را از این آلیاژ تهیه می کنند.

332: آلیاژ ساخت پیستون است.

355-356-357: پرمصرف ترین آلیاژها در رینگ خودرو.

380-383-384: مقدار آهن بالاست تا در دایکاست به قالب نجسبند. بلوک سیلندر پژو از این آلیاژ و دایکاست تولید می شود.

390: تنها آلیاژ هایپر است. بیشترین کاربرد در ساخت موتورهای دیزل .

413: تقریباً یوتکتیک است. خواص مکانیکی بالایی ندارد ولی سیالیت عالی دارد.

مس و آلیاژهای آن :

خصوصیات ریختگی مس را می توانیم با افزودن عناصر آلیاژی نظیر سیلیسیم ، بریلیم ، نیکل ، قلع ، روی ، کرم در بعضی موارد نقره افزایش دهیم. مس خالص بالاترین هدایت الکتریکی را دارد اما افزودن عناصر آلیاژی به مس از هدایت الکتریکی آن کم می کند اما بر خواص مکانیکی آن می افزاید.

کاربردها : آلیاژهای مس به دلیل کیفیت سطحی عالی ، مقاومت به خوردگی عالی ، خواص یاتاقانی خوب ، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا کاربرد زیادی در صنعت دارند.

-ساخت انواع اتصالات ، شیرآلات ، پمپ ها ، این قطعات باید نقش هدایت و انتقال سیالات را بازی کنند . اولین چیزی که مطرح است نشت ناپذیری آن است. مقاومت به خوردگی خوب و استحکام مکانیکی مناسب را برای این کار دارند.

-بوش ها و یاتاقان ها : اینگونه قطعات نیاز به تلفیقی از استحکام ، مقاومت به خوردگی ، مقاومت به سایش و خواص خود روغن کاری دارند. که از طریق متالورژی پودر تولید می شود .

برنز قلع – برنز آلومینیوم در این گروهند.

-چرخ دنده ها : برنز قلع – برنز نیکل قلع

-صنایع کشتی سازی و دریایی : بدنه پمپ ها – شیرها- پروانه کشتی – شفت پروانه – در محیط آب دریا باید مقاومت به خوردگی داشته باشد.

-صنایع الکترونیکی : ترانسفورماتورها – اجزای انتقال نیرو – سیم های مسی

کاربرد تزئینی و هنری : اکثر آلات موسیقی از مس است . طنین خوبی دارد . اکثر مجسمه های قدیمی برنزی بوده است . ناقوس کلیسا – جواهر آلات مصنوعی

مس خالص و انواع آن :

اصولا هرگونه اخلاص در شبکه کریستالی مس FCC می تواند باعث پراکندگی الکترون ها گردد. در نتیجه باعث کاهش هدایت الکتریکی می شود . عناصر آلیاژی در شبکه کریستالی مس چنانچه اندازه اتمی آنها با مس متفاوت باشد باعث ایجاد تنش های الاستیک موضعی شده و هدایت الکتریکی را کاهش می دهد.

۱-مس عاری از اکسیژن با هدایت الکتریکی بالا Oxygen Free High- (OFHC) Conductivity

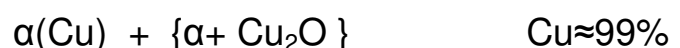
این مس با خلوص بالای  $Cu > 99.99\%$  برای مصارف الکتریکی استفاده می شود. این مس تحت شرایط کنترل شده و دقیق از اکسیژن زدایی تهیه شده بنابراین هم میزان اکسیژن باقیمانده و هم عناصر اکسیژن زدایی باقیمانده در آن بسیار کم است.

$0.001\% < \text{اکسیژن}$

این مس بیشتر برای کار سرد استفاده می شود و میزان اکسید مس خیلی کم است.

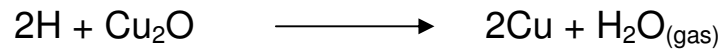
۲-مس صنعتی

برای تولید نوار سیم ، مفتول و صفحه مسی استفاده می شود . میزان اکسیژن موجود در آن  $0.05\%$  است که تماما به صورت  $Cu_2O$





چنانچه این مس تا حدود  $400^{\circ}\text{C}$  و یا بیشتر در اتمسفر حاوی هیدروژن و یا سایر گازهای احیایی حرارت داده شود هیدروژن براحتی در مس نفوذ می کند و به سهولت در آن حل می شود و خودش را به ذرات  $\text{Cu}_2\text{O}$  می رساند.



تشکیل مولکول های  $\text{H}_2\text{O}$  به صورت گازی شکل بدلیل اینکه در مس جامد نامحلول اند و به صورت حفره و مک در ساختار ظاهر می شوند. فشار زیاد ناشی از تشکیل بخار باعث گسیختگی در مرزهای دانه می شوند و عمدتاً باعث ایجاد ترک و افت استحکام می شود. بهتر این است که این نوع مس را در این محیط های احیایی آنیل نکنیم. از این مس برای تولید لوله ها و تیوب مسی استفاده می شود.

### جلسه یازدهم

#### برنج های Cu-Zn دو فازی ( $\alpha+\beta'$ )

مناسب برای کار گرم هستند.

استحاله order-dis دارند.  $\beta \longrightarrow \beta'$

درصد Zn ۴۰-۴۵%

معروفترین این آلیاژ: Cu-40%Zn

حضور فاز  $\beta$  قابلیت عملیات حرارتی به این آلیاژ میدهد.  $\alpha+\beta$  و  $\alpha+\beta'$

در دمای بالا  $T=750^{\circ}\text{C}$  این برنج کاملاً تک فاز خواهد بود. دمای کارگرم برای این فلز ۶۵۰-۷۵۰ است.

Pb سرب برای بهبود ماشینکاری به آن اضافه می شود.  $61/5\%\text{Cu} - 33/5\%\text{Zn} - 3\%\text{Pb}$

#### برنج خوش تراش Free-Cutting Brass

اشکال این آلیاژ این است که کارگرم نمی شود چون سرب هیچ حلالیتی در این آلیاژ ندارد و کاملاً نامحلول است. اگر به دمای کارگرم  $T=500-900$  برویم سرب ذوب می شود و وارد منطقه دوفازی  $\alpha+\text{Liquide}$  می شویم در نتیجه مایع مرزهای دانه  $\alpha$  را آغشته می کند و آلیاژ از هم می پاشد و از بین می رود.

فاز  $\beta$  یک ترکیب بین فلزی است از Cu-Zn

ترکیب بین فلزی  $\beta$  در اثر کاهش دما می تواند به  $\beta'$  تبدیل شود.  $\beta$  دارای شبکه BCC است در دمایی  $T > 470^\circ\text{C}$ ، در این حالت اتم های Cu و Zn کاملاً اتفاقی و نامنظم در شبکه قرار دارند. در اثر کاهش دما اتم ها در مکان های ترجیحی قرار می گیرند زیرا در دماهای بالا در اثر انرژی حرارتی کافی ارتعاشات در شبکه زیاد می باشد در صورتی که با کاهش دما از ارتعاشات شبکه کاسته شده و بین اتم های Cu و Zn انرژی اتصالی ایجاد می گردد و اتم ها در مکان های ترجیحی در شبکه قرار می گیرند. اتم ها در این حالت به صورت منظم کنار یکدیگر قرار می گیرند به این حالت شبکه منظم Super lattice ( فوق شبکه ) گفته می شود.

$\alpha$  در دیاگرام Cu-Zn ملاحظه می شود فاز  $\beta'$  در دمایی  $250^\circ\text{C}$  در اثر واکنش یوتکتوئیدی  $\gamma + \beta'$  را داریم اما مرزهای فازی در دیاگرام مزبور به صورت خط چین نشان داده شده است. این مبین آن است که از نظر تجربی بر آن اطمینانی نیست همچنین واکنش یوتکتوئید مربوطه نیاز به زمان قابل ملاحظه ای دارد.

$\alpha + \beta'$ : فاز محلول جامد FCC نرم و شکل پذیر

$\beta'$  یک فاز ترد و شکننده است.

این ساختار دو فازی در بعضی مواقع مثل ساخت یاتاقان ها می تواند مناسب باشد. فاز نرم تنش ها را مستهلک می کند و فاز سخت مقاومت به سایش و استحکام را افزایش می دهد.

**عملیات حرارتی:**

تا دمایی  $T = 800^\circ\text{C}$  حرارت داده وارد منطقه تکفاز می شویم. با کنترل تشکیل رسوب و ایجاد فاز  $\alpha$  در هنگام سرد کردن می توانیم خواص را بهبود بخشیم. بدین صورت که چنانچه آلیاژ مذکور را از دمایی  $800^\circ\text{C}$  سریع کوئنچ کنیم ساختار نهایی ضرورتاً  $\beta'$  تشکیل خواهد شد. فاز  $\alpha$  به صورت سوزنی شکل خود را نشان می دهد. لازم به ذکر است که فاز  $\alpha$  توسط حضور دوقلویی ها قابل تشخیص می باشد.

**برنج های خوش تراش - برنج های سرب دار**

برنج } Cu-Pb  
برنز }

سرب در مذاب در درجه حرارت های بالا به هر مقدار حل می شود اما در دمایی محیط سرب هیچ گونه حلالیتی در مس ندارد. اگر این آلیاژ را از دمایی  $T = 1080^\circ\text{C}$  به آهستگی سرد نماییم در این دما اولین جوانه زنی با تشکیل فاز  $\alpha$  (محلول جامد مس) شروع می شود. اگر مس از مذاب خارج شود مذاب باقیمانده از سرب غنی می شود.

در دمایی  $T = 955^\circ\text{C}$  غلظت سرب در مذاب باقیمانده طبق دیاگرام  $\text{Pb} = 36\%$  می شود.

$L_1$  ( 36%Pb مذاب )  $\longrightarrow$   $\alpha$  ( 100% Cu ) +  $L_2$  ( 87%Pb )

انجماد ادامه پیدا کرده و جوانه زنی فاز  $\alpha$  ادامه دارد تا اینکه در دمای  $326^{\circ}\text{C}$  غلظت سرب در مذاب باقیمانده آنقدر زیاد خواهد شد  $99/94\%$  می رسد.

در این دما واکنش یوتکتیک صورت می گیرد.



این سرب یا فاز  $\beta$  بصورت گلوله های ریز در نواحی بین دندریتی توزیع خواهد شد و در نتیجه آلیاژ را مناسب برای انجام کار سرد می نماید.

دیگرام سه تایی Pb-Cu و Zn را بررسی کرده و بر روی حلالیت و همچنین دمای واکنش سرب مطالعه شود.

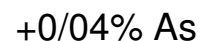
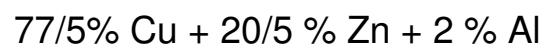
## جلسه دوازدهم

### برنج های دارای آلومینیوم و قلع

افزودن حدود  $1\%$  قلع به برنج های تک فاز  $\alpha$  به خصوص  $30:70$  مقاومت به خوردگی افزایش می یابد به خصوص در آب دریا به همین دلیل در سال  $1920$  در نیروی دریایی انگلستان استفاده شد. بعد از آن از  $AS 0/04\%$  آرسنیک هم به این اضافه شد که باعث شد از پدیده خوردگی به نام روی زدایی جلوگیری شود.

روی زدایی: عبارت است از خورده شدن روی در آلیاژ و باقی گذاردن سطحی متخلخل بر روی مس و محصولات آن.

برای کاهش هزینه Al را جایگزین قلع کردند. آلومینیوم با تشکیل اکسید محافظ بر سطح برنج باعث تولید فیلم اکسید آلومینیوم سخت بر روی آلیاژ می شود و می تواند مقاومت به خوردگی در آب دریا را افزایش دهد.



یکی از کاربردهای این آلیاژ خنک کننده های زیر دریایی هاست.

مورد دوم خوردگی برنج ها: ترک های ناشی از خوردگی تنشی است. S.C.C.

چنانچه برنج های تک فاز  $\alpha$  که بیش از  $5/0\%$  روی دارند در شرایط کار سرد شده به خصوص در محیط های حاوی مقادیر آمونیاک یا در حضور اکسیژن و رطوبت قرار داشته باشند دچار S.C.C خوردگی تنشی می شوند.

معمولا این ترک ها در برنج های  $\alpha$  در امتداد مرزهای دانه اتفاق می افتد که به این ترک های بین دانه ای می گویند.

اما اگر آلیاژ تحت کار سرد شدید قرار گرفته باشد چنانچه تغییر فرم پلاستیک زیاد باشد در این حالت ترک ها از داخل دانه می گذرند و به درون دانه منتقل می شوند.

**راه علاج :**

این است که چون این ترک ها در برنج های کارسرد یافته دیده می شوند لذا با انجام تنش زدایی در دماهای پایین می توان آنرا برطرف نمود یا کاهش داد.

**برنرها :**

### برنز قلع (Cu-Sn)

قلع در مس خیلی کندتر و کمتر حاصل می شود و به صورت محلول جامد در می آید در مقایسه با روی در مس

-دیگرام فازی Cu-Sn دارای ترکیبات بین فلزی زیادی بوده و در دمای  $T = 520 - 586$  ماکزیمم حلالیت  $15/8\%$  قلع وجود دارد و شرایط تک فاز  $\alpha$  است.

Cu-Sn تا حدود  $11\%$  قلع در هنگام سرد شدن تا دمای محیط فاز  $\epsilon$  رسوب می کند . این فاز در صورتی که آلیاژ به صورت آهسته و تعادل منجمد بشود بوجود می آید اما در شرایط عینی ریخته گری فاز  $\delta$  تشکیل می شود. ( $\alpha + \delta$ )

**فازها :**

۱- فاز  $\alpha$  شبکه کریستالی FCC

۲- فاز  $\beta$  شبکه کریستالی BCC

۳- فاز  $\gamma$  شبکه کریستالی BCC

۴- فاز  $\epsilon$  شبکه کریستالی رومبیک با فرمول  $Cu_3Sn$

۵- فاز  $\delta$  شبکه کریستالی BCC با فرمول  $Cu_{31}Sn_8$

**تحولات :**

۱- در دمای  $798^\circ C$  تحول پریتهکتیک  $\alpha + L \rightarrow \beta$

۲- در دمای  $586^\circ C$  تحول یوتکتوئید  $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$

۳- در دمای  $520^{\circ}\text{C}$  تحول یوتکتوئید  $\alpha \longrightarrow \gamma + \delta$

۴- در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  تحول یوتکتوئید  $\alpha \longrightarrow \delta + \epsilon$

معمولاً تک فاز  $\alpha$  برای کار سرد مناسب است. انعطاف پذیری خوبی دارد. اما با حضور ترکیبات بین فلزی عمدتاً ساختار ترد و شکننده می شود. اگر Sn بین ۵-۱۵ درصد باشد دامنه انجماد طولانی دارند بعضی مواقع ۲۰۰ درجه فاصله وجود دارد و انجماد خمیری است و باعث ایجاد انقباض پراکنده می شود در نتیجه نیاز به سیستم راهگامی و تغذیه گذاری مناسبی دارند و این آلیاژها دارای پدیده Coring یا Micro Segregation هستند.

در شرایط ریخته گری ( غیر تعادلی )  $\alpha + \delta$  این دو فاز را خواهیم داشت و فقط تحت شرایط آنیلینگ طولانی مدت می توان  $\delta$  را حذف نمود و به جای آن فاز  $\epsilon$  را تشکیل داد.

برنزهای قلع نوردی	} برنز قلع
برنزهای قلع ریختگی	

۱-۱۰% قلع - تک فاز  $\alpha$  کار سرد نمی شوند.  $\text{Sn} > 10\%$

در برنزهای قلع نوردی می توانیم  $0.1\% \text{P}$  برای اکسیژن زدایی و بهبود قابلیت ریختگی مذاب اضافه می کنیم.

اگر میزان فسفر بیش از حد لازم برای اکسیژن زدایی باشد باعث تشکیل فاز  $\text{Cu}_3\text{P}$  فسفید مس که باعث افزایش سختی و استحکام را بالا می برد.

چنانچه برنز قلع تک فاز یا نوردی را با آلیاژ مشابه یعنی برنج تک فاز مقایسه کنیم از استحکام بالاتری برخوردار است به خصوص در حالت کار سرد شده. مقاومت به خوردگی اش هم بالاتر است.

در برنز قلع تک فاز هم مثل برنج دوقلویی داریم. مثل:  $8\% \text{Sn}$  و  $92\% \text{Cu}$

برنزهای قلع ریختگی چون وارد منطقه دو فاز می شویم برای کار سرد مناسب نیست.

$10 < \text{Sn} < 16\%$  برای ساخت یاتاقان های با استحکام بالا استفاده می شود.

سرب در این آلیاژها نقش بهبود ماشین کاری، فرم پذیری، افزایش سطوح یاتاقانی مناسب، دارد.

ریختگی این آلیاژهای برنز بین  $1100-1200^{\circ}\text{C}$  است.

در یک تقسیم بندی دیگر:

انواع آلیاژهای برنز قلع

۱- برنزهای قلع دار ساده می توان برحی ریختگی نمود، کار سرد یا کار گرم انجام داد و

$\text{Sn} < 10\%$  برای کار سرد، Sn تا ۱۶% برای ریخته گری یاتاقان

$\alpha + \delta$

فاز  $\alpha$  حسنش این است که در مقابل ضربه و ارتعاش مقاومت کرده و تنش ها را در خودش مستهلک می کند اما  $\delta$  مقاومت به سایش را افزایش می دهد.

۲-برنزهایی فسفر دار ( فسفر برنز) :  $P : 0.5-1\% + Sn : 5-10\%$

در نتیجه این آلیاژها قلع سختی و چقرمگی را به آلیاژها می دهد . فسفر نیز باعث افزایش سختی و مقاومت به سایش می شود همچنین مقاومت در مقابل زنگ زدگی را زیاد می کند . این آلیاژ برای ساخت یاتاقان ها مناسب  $Cu_3P$  در این آلیاژ تشکیل می شود.

۳-برنز روی دار ← این برنرها را می توان ریخته گری نمود می توان کار سرد انجام داد .

حاوی :  $Cu + 3\% \text{ قلع} + 2/5\% Zn$

ابتدا برای ضرب سکه استفاده می کردند. اما چون قلع گران است به سمت افزایش روی رفتند. معروفترین این آلیاژ ، آلیاژ مفرغ است.

در کشتی سازی مورد استفاده دارد به این علت که مقاومت به زنگ زدگی خوبی دارد.

۸۸ - ۱۰ - ۲

Cu -Sn -Zn

۴-برنز سرب دار ←  $Pb$  قابلیت ماشین کاری را زیاد می کند تا ۳% می توانیم سرب اضافه کنیم . این برنرها در یاتاقانها کاربرد دارد چون سرب باعث می شود مقاومت در برابر نیروهای وارده افزایش یابد. به طور کلی برنزهایی سرب دار قابلیت نورد گرم ندارند ( همان نقصان گرم) فقط کار سرد می شوند و به خاطر همان دلایلی که در مورد برنج های سرب دار قبلا اشاره شد در هنگام نورد گرم امکان متلاشی شدن آلیاژ وجود دارد.

85-5-5-5

مثال : الیاژ توپ

Cu-Sn-Pb-Zn

این آلیاژ به طور وسیع در ساخت قطعات سیستم های هیدرولیک اتصالات آب استفاده می شود همچنین برای ساخت یاتاقان های با تنش متوسط ( کم) از این استفاده می کنیم.

سختی این یاتاقان خیلی کم است. 30HB

برنز آلومینیوم (Cu-Al) :

دیاکرام Cu-Al خیلی شبیه Cu-Zn است . حلالیت آلومینیوم در مس نسبتا زیاد است و در درصدهای بالاتر آلومینیوم ترکیبات بین فلزی متعددی تشکیل می شود.

ویژگی ها :

-در  $T=565$  مقدار  $Al$  %  $19/4$  حل می شود و تکفاز  $\alpha$  است.

-در دمایی پایین تر  $\alpha + \gamma_2$  یک ترکیب بین فلزی ترد و شکننده است و باعث افزایش سختی می شود.

**فازها :**

۱- فاز  $\alpha$  شبکه کریستالی FCC

فاز  $\beta$  شبکه کریستالی BCC  $Cu_3Al$

فاز  $\gamma_2$  ترکیب بین فلزی  $Al_4$  و  $Cu$  بسیار ترد و شکننده

تحولات :

۱- تحول یوتکتیک  $T=1035^\circ C$   $Al$  %  $8/3$   $L \rightarrow \alpha + \beta$

۲- تحول یوتکتوئید  $T=565^\circ C$  و  $Al$  %  $11/8$   $\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$

$\beta$  اگر آرام سرد شود واکنش تعادلی پرلیت تشکیل می شود و اگر کولنج شود مارتنزیت تشکیل می شود.

**جلسه چهاردهم**

**آلیاژهای منیزیم (Mg) :**

بحث کاهش وزن مطرح شد. منیزیم فلزی است با رنگ سفید نقره گون، وزن مخصوص  $1/7 \frac{gr}{cm^3}$ . سبک ترین فلز صنعتی است. نقطه ذوب  $651^\circ C$  اما نقطه تبخیر  $T_b=1105^\circ C$  پس خیلی سریع تبخیر شده و تلف می شود. دارای فشار بخار زیادی است در نتیجه احتمال تبخیر آن زیاد است. شبکه کریستالی آن هگزاگونال است شبکه های هگزاگونال داکتلیته کمتری از FCC دارند پس  $Mg$  از  $Al$  و  $Cu$  داکتلیته کمتری دارد پس این آلیاژها کار سرد نمی شود ولی کار گرم می توان انجام داد.

روش های ریخته گری در ماسه - قالب فلزی  $LPDC$ ،  $HPDC$ ،  $GDC$  را می توان برای آن بکار برد. دایکاست این آلیاژ متداول است.

موبایل - لپ تاپ - فرمان پژو ۲۰۶ - رینگ خودرو -

با توجه به مقایسه نسبت  $\frac{\text{استحکام}}{\text{وزن مخصوص}}$  می توان نتیجه گیری نمود که آلیاژ منیزیم با نسبت استحکام به وزن مخصوص بهترین آلیاژ آلومینیوم (7575) در شرایط عملیات حرارتی شده و همچنین سوپرآلیاژ پایه  $Ti$  قابل رقابت و مقایسه است و از بهترین نوع فولادها به عنوان مثال  $HSLA$  به مراتب بالاتر است.

**کاربرد :**

قطعات هواپیما- موشک - راکت - تانک بنزین - رینگ خودرو - رینگ هواپیما - قطعات موتور - لپ تاپ

### ذوب و ریخته گری :

مواد شارژ : شمش های اولیه

آمیژان ها : Al-Mg، Mg-Mn ، Al-Be

ولی عنصر دوم Al و عنصر سوم Zn است .

کوره ذوب : محدودیتی ندارد هر کوره ای برای Al باشد می توانیم برای Mg استفاده کرد .

بوته : علاوه بر بوته های مربوط به Al می توان بوته های فولاد و چدنی هم استفاده کرد. بدلیل عدم حلالیت آهن در منیزیم .

### گاز زدایی :

به دلیل اینکه فشار بخار منیزیم بالاست در نتیجه حلالیت هیدروژن به حساسیت آلیاژهای Al نیست در نتیجه عیوب گازی ، مک و تخلخل در آلیاژهای منیزیم کمتر از آلیاژهای Al است.

با این وجود برای گاز زدایی می توان از  $Cl_2$  و  $C_2Cl_6$  برای این کار استفاده کرد. فلاکس های پوششی بسیار حائز اهمیت است چون شدت اکسیداسیون و تجزیه Mg زیاد است.

ترکیبات استفاده شده معمولاً  $BaCl_2 + NaCl + KCl + MgCl_2$  هستند.

فلاکس های تصفیه یا تمیزکننده بر پایه  $MgCl_2$  است . Cl با آخال واکنش داده به سرباره می رود و Mg داخل مذاب می شود.

### بارریزی :

قبل از ریختن مذاب معمولاً سرباره و مواد فلاکس را از سطح مذاب خارج می کنند در نتیجه امکان سوختن فلز و آتش سوزی وجود دارد باید سطح مذاب تمیز شده را گوگرد بپاشیم .

گوگرد تولید گاز سولفور می کند  $S \quad SO_2$

دانسیته این گاز زیاد است و روی سطح را می پوشاند و باعث فاصله انداختن با اکسیژن هوا می شود. اما  $SO_2$  کمی است.

سیستم تهویه بسیار قوی باید حاکم باشد . ماسک باید بزنیم .  $SO_2$  با هموگلوبین واکنش می دهد. به جای گوگرد از  $SF_6$  هم استفاده می شود که باز هم سمی است.

### آلیاژهای منیزیم - آلومینیوم - روی

منیزیم به صورت سوخت جامد موشک ها استفاده می شود و در آتش بازی



AZ91 Al=۹% Zn =۱%

AZ63 Al=۶% Zn=۳%

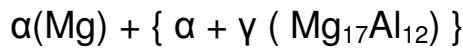
تا دماي حدود  $175^{\circ}\text{C}$  خيلي خوب و رضاييت بخش کار میکند .

-آلیاژ AZ63 در جاهایی که نیاز به Max تافنس یا داکتیلیته همراه استحکام تسلیم بالا بخواهیم استفاده می شود.

-AZ91 در جاهاییکه استحکام تسلیم بالا و خاصیت نشت ناپذیری بالا استفاده می شود

آلیاژهاي منیزیم قابلیت عملیات حرارتي را هم دارند.

AZ92  $\xrightarrow{\text{آهسته سرد کردن}}$  تا دماي  $T=408$  عملیات محلولي  $\xleftarrow{\text{سريع سرد کردن}}$



(Mg)

بعد از پيرسازي

در اثر پير کردن مصنوعي ترکیبات بين فلزي به صورت ذرات ريز در درون دانه ها رسوب کرده و باعث افزایش استحکام و سختي می شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 220^{\circ}\text{C} \\ t = 5\text{Hr} \end{array} \right.$$

آلیاژهاي روي :

آلیاژ Friendly User است . رنگ هاي زیبایی داشته ، قیمت آن  $\frac{2}{3}$  آلومینیوم است . پوشش فولادها ( گالوانیزه ) برای جلوگیری از خوردگی

ترکیبات روي : لاستیک – کیریت – رنگ

اما دماي تبلور مجدد روي پایي است .  $T_R < 25^{\circ}\text{C}$

پس در هر دمایی نورد گرم روي آن انجام می شود به این فلز خود انیل شونده می گویند.

با افزودن عناصر آلیاژی و ناخالص می توان دماي تبلور مجدد را افزایش داده و قابلیت کار سختي در آلیاژ ایجاد کرد.

اکثر قطعات دایکاست – وسایل آشپزخانه – قطعات اتومبیل – قطعات در رادیو ، ضبط و ویدیو .... بدنه کاربراتور – بدنه پمپ بنزین – دستگیره های درب اتومبیل یا دستگیره در و پنجره – اسباب بازی

خواص روي خالص :

چگالي :  $\frac{7.14 \text{ gr}}{\text{cm}^3}$

$$T_b = 907^\circ\text{C}$$

$$T_m = 419^\circ\text{C}$$

ساختار CPH

خود روي خالص شکل ندارد ولي در برنج سازي مشکل است چون

$$\text{Cu-Zn} \quad T=1083 \quad T=1200$$

اضافه کردن روي به آن ، مساوي با تجزيه کامل روي است .

روي مذاب را با پوششي از  $\text{SiO}_2$  -شیشه- يا ماسه مي پوشانيم سپس با پلانجر روي را به داخل مذاب مي زنيم.

هدايت الكتريكي IACS %28/27 است.

مقاومت به خوردگي : خوب

يکي از فرآيندهاي توليد اين آلياژ دايکاست است.

**ذوب و ريخته گري :**

روي به دليل اينکه فشار بخار زياد دارد عمدتاً خاصيت جذب گاز ندارد نهايتاً کمتر با مک و تخلخل مواجهيم . عناصر آلياژي اضافه شده در روي  $\text{Al, Cu, Mg}$  است.

ريخته گري در ماسه بصورت محدود انجام مي شود.

مس : باعث افزايش سختي و استحکام مي شود.

Mg : جلوگيري از خوردگي + خاصيت اکسيژن زدائي

Al : جلوگيري از خوردگي + خاصيت اکسيژن زدائي

سه عنصر مضر : Cd Sn Pb

$$<0.007\% \quad <0.005\% \quad <0.005\%$$

شدت خوردگي بين دانه اي را افزايش مي دهند.

زاماک سرب خشک گفته مي شود که نبايد سرب داشته باشد.

ذوب : در کوره هاي بوتله اي - الكتريکي و .... انجام مي شود.

به سرعت اکسید می شود در نتیجه باید سطحش به خوبی پوشش داده می شود. اما اکسید روی وزن مخصوص کمتر از مذاب خودش دارد و این اکسید آغشته پذیري با مذاب خوش را هم ندارد در نتیجه به راحتی روس سطح مذاب قرار می گیرد.

دامنه انجمادي آلیاژهاي روی کوتاه است پس جزء آلیاژهاي پوسته اي هستند.

ریخته گري در ماسه باعث دانه درشتي ساختار می شود.

بیشترین کاربرد را در دایکاست دارد . قیمت پایین دارد.

به سادگي ریخته گري می شود – استحکام نسبتا خوب – دقت ابعادي بالا – ماشین کاري کم هزینه است – مقاومت به خوردگي خوب

#### محدودیت :

دردهاهای بالا  $T > 100$  کاربردي نیست . ۳۰% کاهش استحکام و ۴۰% کاهش سختي .

مس ندارد یا ناچیز  $4\% \text{ Al} + 0.04\% \text{ Mg}$  + Zamak-3

$4\% \text{ Al} + 0.04\% \text{ Mg} + 1\% \text{ Cu}$  + Zamak -5

زاماک ۳ = داکتلیته بالاتر – مقاومت به ضربه بالاتر

زاماک ۵ : استحکام و سختي بالاتري دارد – قابلیت ریخته گري بهتر است .

کاربردها : قطعات اتومبیل – وسائل منزل – ابزارآلات – ساختمانی – دستگیره های در و کابینت – اسباب بازی

[www.metallurgydata.blogfa.com](http://www.metallurgydata.blogfa.com)