

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)





# آلومینیم و آلیاژهای آن



## بخش اول

# شناسایی آلومینیم

آلومینیم یکی از فلزات تقریباً جدید است که کاربردهای صنعتی آن تقریباً از سال 1886 میلادی با تهیه شمش آلومینیم از طریق الکترولیز توسط هرولت « Heroult » در فرانسه و مارتین - هال « Martin - Hall » در آمریکا آغاز گردید، ولی کوشش های متعدد و پی گیر برای استخراج و تهیه آن از سالهای 1820 ادامه داشته است.

کمتر از یکصد سال از زمان تهیه آلومینیم به طریقه بایر « Bayer » توسط « K-j Bayer » در سالهای 1887 تا 1892 می گذرد، ولی در همین مدت کوتاه، خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب آلومینیم و آلیاژهای آن باعث گردیده است که این فلز در پهنه ی صنعت ارزش بسیار زیادی یافته و در دو جهت مختلف خواص فیزیکی و مکانیکی جایگزین برخی از انواع فولادها و یا آلیاژهای مس گردد.

آلومینیم دارای 13 پروتن 14 نوترون و 13 الکترون است و بدین ترتیب عدد اتمی آن 13 و جرم اتمی آن تقریباً 27 می باشد ( جرم اتمی آلومینیم در اندازه گیری های فیزیکی برابر 26/9901 و در اندازه گیری های شیمیایی برابر 26/98 تعیین شده است ).

آلومینیم در ترکیبات شیمیایی دارای ظرفیت 3 بوده ولی توزیع الکترونها مدار بیرونی آن به گونه ای است که در برخی از ترکیبات می تواند دارای ظرفیت 1 باشد.

نقطه ذوب آلومینیم 660 و نقطه جوش آن 2057 درجه سانتیگراد است. نقطه ذوب پایین آلومینیم نسبت به مس ( 1083 درجه سانتیگراد ) و آهن ( 1539 درجه سانتیگراد ) و مقایسه وزن مخصوص و سایر خواص فیزیکی و مکانیکی این سه فلز و آلیاژهای آنها یکی از دلایل عمده گسترش روزافزون و کاربردهای آلومینیم در صنعت می باشد، زیرا برای ریخته گری و ذوب این فلز تقریباً امکان استفاده از تمام کوره های صنعتی ذوب معمولی و با قدرت حرارتی کم میسر است.

گرمای نهان گداز آلومینیم حدود 2/5 کیلو کالری بر اتم گرم و یا تقریباً 93 کالری بر گرم می باشد و این مقدار گرمایی است که در جریان ذوب برای از بین رفتن ساختار بلوری آلومینیم جامد از FCC ( مکعب یا اتم در مرکز رویه ) و تشکیل ساختار غیر بلوری مایع صرف می شود . بدیهی است در جریان انجماد نیز همین مقدار حرارت باید از مذاب گرفته شود و به همین دلیل شرایط انتقال حرارت از قالب بر این اساس و ظرفیت گرمایی فلز محاسبه می شود .

آلومینیم بعد از منیزیم سبکترین فلز است . وزن مخصوص « چگالی » آن برابر 2/7 گرم بر سانتیمتر مکعب است . سبکی آلومینیم یکی دیگر از عوامل مهم در کلبردهای صنعتی آن می باشد . چنانچه چگالی آلومینیم با مس ( 8/9 ) و آهن ( 7/8 ) مقایسه شود ، نتیجه می گردد که برای ساخت قطعاتی با شکل مشابه از آلومینیم به کمتر از 30 درصد وزنی مس و 34 درصد وزنی آهن ، فلز لازم است . با توجه به مقایسه قیمت وزنی و همچنین سهولت حمل و نقل و ذوب سریعتر ، گسترش کاربردهای صنعتی آلومینیم را می توان پیش بینی نمود .

آلومینیم یکی از فلزات هادی است و هدایت حرارتی آن تقریباً 55/7 درصد مس و مقاومت الکتریکی آن برابر 2/655 میکرواوم بر سانتیمتر مربع است ( 1/58 برابر ضعیف تر از مس ) . که در مقایسه با مس نسبت وزن مخصوص ، هدایت حجمی آلومینیم از مس بیشتر و این نیز یکی دیگر از موارد استفاده های صنعتی آلومینیم و توسعه کاربرد آلومینیم در مصارف الکتریکی محسوب می شود .

آلومینیم فلزی است نرم که درصد ازدیاد طول نسبی کششی آن به 40 می رسد ولی سختی آن تقریباً کم و 30 برینل تجاوز نمی کند . قابلیت آلیاژسازی و استفاده از آلیاژهای مختلف آلومینیم با عناصر مانند سیلیسیم ، منیزیم و مس باعث گردیده است در حالی که خواص فیزیکی الومینیم نظیر وزن مخصوص افزایش فاحشی نداشته باشد و نقطه ذوب آن حتی کاهش یابد ، آلیاژهای مقاومی حاصل گردد که سختی آن گاه به 200 برینل نیز برسد و از تاو کششی (استحکام کششی) Tensile Strength و خواص مکانیکی بسیار بالایی برخوردار باشد .

یکی دیگر از مشخصات عمده آلومینیم که در گسترش زمینه های کاربرد این عنصر و آلیاژهای آن در صنعت نقش مهم و اساسی دارد ، مقاومت این فلز در مقابل اکسیژن « هوا » و سایر عوامل خورنده های شیمیایی نظیر آب دریا ، برخی از مواد روغنی و . . . است . آلومینیم به سرعت اکسیده می شود ، ولی اکسید حاصل تشکیل یک

فیلم « لایه » فشرده و غیر متخلخلی را می دهد که از نفوذ اکسیژن به قسمت های درونی قطعه جلوگیری کرده و خود حفاظت فلز و قطعه را در مقابل اکسیژن و عوامل اکسایش بر عهده می گیرد .

مشخصاتی که در فوق گفته شد و به خصوص آنهای که بر معیارها و مقیاس های فیزیکی استوار هستند ، به فلز خالص آلومینیم اختصاص دارند . در صنعت خواص فیزیکی تحت تأثیر ناخالصی های موجود در فلز صنعتی قرار گرفته و تغییرات عمده ای را نسبت به شرایط فیزیکی و شیمیایی و آنچه در جداول مربوطه وجود دارد ، خواهند داشت .

آلومینیم صنعتی نه به صورت یک عنصر شیمیایی بلکه به صورت یک ماده در دسته های مختلف قرار می گیرد که از آلومینیم خالص تجارتي با درجه خلوص حدود 99٪ تا آلومینیم ویژه خالص « Super Purity » با درجه خلوص 99/99 درصد تغییر می کند و بدیهی است که هر یک کاربرد صنعتی خاص خود را دارند .

در جدول خواص فیزیکی آلومینیم صنعتی با توجه به درجه خلوص آن نشان داده می شود تا به خوبی اثر مواد ناخالصی و درجه خلوص آلومینیم در خواص فیزیکی گفته شده فوق نمودار شود .

همانگونه که از این جدول استنباط می شود ، تأثیر مهم ناخالصی ها در خواص هدایتی و مکانیکی است و خواص دیگر تأثیر پذیری کمتری دارند .

خواص	درجه خلوص				
	۹۹/۹۹۹	۹۹/۹۹	۹۹/۸	۹۹/۵	۹۹/۰
درجه سانتیگراد		۶۶۰/۲			۶۵۷/۰
نقطه ذوب		۶۶۰/۲			۶۵۷/۰
» »		۲۰۵۷			
نقطه جوش		۲۰۵۷			
کالری بر گرم		۰۹۴/۶			۹۳
گرمای نهان‌گداز		۰۹۴/۶			۹۳
گرمای ویژه در ۱۰۰ درجه کالری بر گرم درجه سانتیگراد		۰/۲۲۲۶			۰/۲۲۹۷
وزن مخصوص در ۲۰ درجه	۲/۷۰	۲/۷۰	۲/۷۰	۲/۷۱	۲/۷۱
گرم بر سانتیمتر مکعب	۲/۷۰	۲/۷۰	۲/۷۰	۲/۷۱	۲/۷۱
مقاومت الکتریکی در ۲۰ درجه	۲/۶۳	۲/۶۸	۲/۷۴	۲/۸۰	۲/۸۷
میکرو اهم بر سانتیمتر	۲/۶۳	۲/۶۸	۲/۷۴	۲/۸۰	۲/۸۷
ضریب انبساط حرارتی $\times 10^6$		۲۳/۸۶	۲۳/۵۰	۲۳/۵۰	۲۳/۵۰
هدایت حرارتی		۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴
در سیستم CGS		۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴
مدول الاستیسیته $\times 10^3$		۷/۰۰۷			۷/۰۷۸
کیلوگرم بر میلیمتر مربع (مدول کشسانی)		۷/۰۰۷			۷/۰۷۸
تاو کششی (استحکام کششی)	۳/۵	۶	۶/۹	۸/۲	۹/۰
کیلوگرم بر میلیمتر مربع	۳/۵	۶	۶/۹	۸/۲	۹/۰
برینل	۱۱	۱۵	۱۹	۲۱	۲۲
سختی	۱۱	۱۵	۱۹	۲۱	۲۲

جدول 1-1 مشخصات فیزیکی و مکانیکی آلومینیم در درجه خلوصهای متفاوت

نتایج حاصل از خواص مطلوب و درخشانی که در فوق گفته شده و امکان استفاده از آلیاژ هایی که بدون تغییرات فاحش در خواص مطلوب و جالب می تواند خواص میکانیکی و استحکامی آلیاژ را افزایش دهد باعث آن گردیده است که آلومینیم مصارف متعددی بیابد. مهترین زمینه های کاربرد آلومینیم در صنایع و نیازمندی های انسانی عارتند از:

1- مصارف خانگی: نظیر کتری، قاشق، چنگال، قابلمه و قسمت هایی از یخچال... توسعه و گسترش آلومینیم در ساخت وسایل خانگی فوق بر دلایل متعددی استوار است که مهمترین آنها مقاومت آلومینیم در مقابل اکسیژن ( هوا )، سبکی و هدایت حرارتی می باشد. در قدیم برای ساخت وسایل خانگی نظیر دیگ، بادیه، بشقاب، قاشق، چنگال و... از مس استفاده می کردند و به منظور جلوگیری از اکسیده شدن آنها و یا واکنش با موند اسیدی رقیق و نمکها که در اغلب خوراها وجود دارد آنها را قلع اندود ( سفیدگری ) می کردند. استفاده از آلومینیم مصارف عمده مس در صنایع خانگی را تقلیل داده است.

علاوه بر مشخصات فوق آلیاژهای آلومینیم که دارای مقدار بسیار کمی تیتانیم هستند، قابلیت شستشو و پرداخت کاری بسیار زیادی داشته و تحت نام تجارتي آلیاکا و آلیاکس در ساخت قاشق و چنگال به کار می روند.

2- مصارف ساختمانی: نظیر در، پنجر، دستگیره در و... به صورتهای ریخته گری و نوردی (کار شده) توسعه و گسترش آلومینیم در مصارف ساختمانی علاوه بر سبکی و زنگ نزدن بر استحکام نسبی و همچنین قابلیت آبکاری الکتریکی آنها استور است که می تواند علاوه بر مقاومت در مقابل عوامل جوی و مکانیکی و تحمل نیروهای فشاری در رنگهای متنوع و ثابت نیز عرضه شود.

3- مصارف شهرسازی: نظی لوله، اتصالات، پمپهای آب و...

مهمترین دلیل موارد مصرف آلومینیم در این زمینه ها علاوه بر مشخصات فوق بر مقاومت آنها در مقابل آب و رطوبت استوار است.

4- مصارف هواپیمایی: در صنایع هواپیمای، وزن و سبکی قطعات د کنار استحکام آنها از اهمیت ویژه برخوردار است (استحکام نسبی = تاو نسبی) و همین امر باعث توسعه کاربرد آلومینیم در صنایع هواپیمای گردیده است. از طرف دیگر قابلیت شکل پذیری آلومینیم و آلیاژهای آن از طریق روشهای مختلف نظیر ریخته گری «Casting» نورد «Rolling» فشار کاری «Extrusion» و پتک کاری (آهنگری) «Forging» باعث گردیده است که هر قطعه با مشخصات مکانیکی خواسته شده را بتوان از یکی از انواع آلیاژهای آلومینیم تهیه کرد.

5- مصارف اتمبیل سازی و قطار: بنا به دلایل عمده فوق، از آلومینیم به صورت قطعات مختلف و به ویژه در ساخت پیستون، اگزوز، دستگیره کاربوراتور و غیره استفاده می شود.

6- مصارف کشتی سازی و زیردریایی: علاوه بر خواص عمومی فوق سبکی و مقاومت آلیاژهای آلومینیم در مقابل نمکهای دریا و آب دریا یکی از مهمترین عوامل مؤثر در کاربرد آلومینیم در قسمت های زیر بدنه، پروانه ف پمپ و سایر قطعات کمکی در کشتیها است.

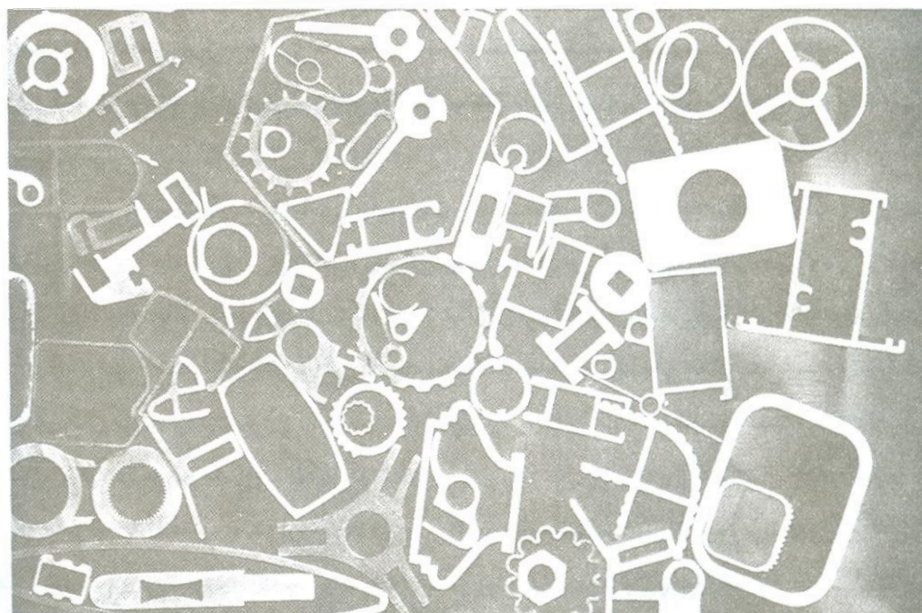
7- مصارف تجاری و بسته بندی : نظیر بسته بندی های چای ، سیگار ، مواد لبنی ، پاکت شیر ف در بطری و ...

آلومینیم به عنوان لفاف و پوشش در بسته بندی انواع محصولات تجاری به منظور جلوگیری از جذب رطوبت و با توجه به سبکی آن به کار می رود ، این پدیده به دلیل آن است که آلومینیم به سهولت از طریق عملیات نورد به ضخامتی تا حدود 10 میکرون و کمتر از آن می رسد که از آنها « زوروق » « Foil » تهیه می کنند .

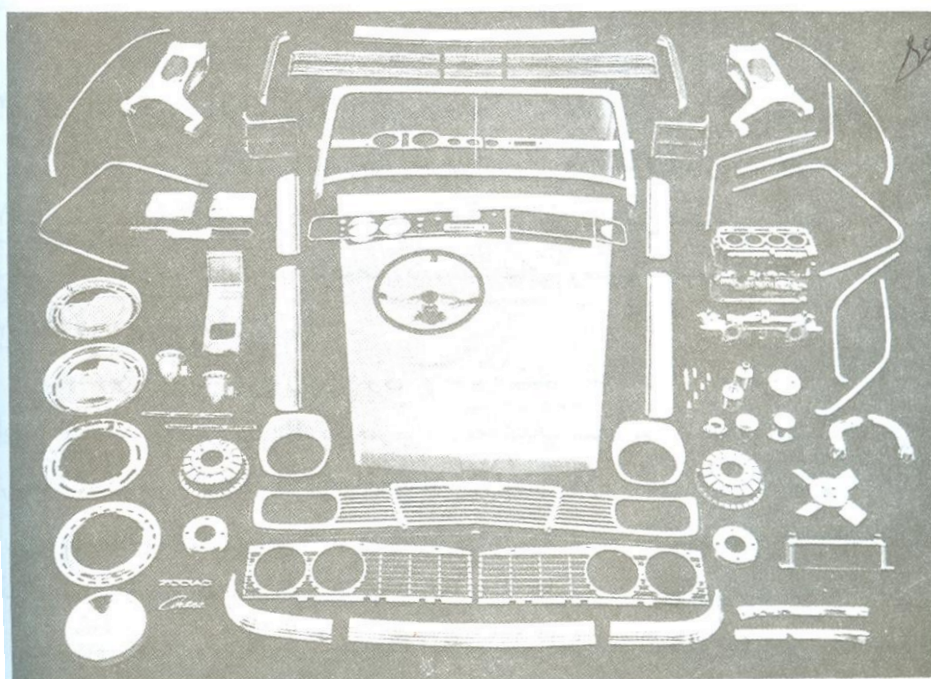
8- مصارف الکتریکی : نظیر کابل ها ، اتصالات . هدایت الکتریکی مطلوب آلومینیم و خواص هدایت الکتریکی حجمی بهتر از تمام عناصر و فلزات و به خصوص در مقایسه با مس ، دلیل اصلی استفاده از آلومینیم در مصارف الکتریکی است .

با توجه به آنچه که عنوان خلاصه ای از کاربرد آلومینیم در صنعت و در زندگی روزانه افراد گفته شد ، نتیجه می گردد که اهمیت و درک این فلز و استفاده از کارایی های متنوع و متعدد آن هنوز خاتمه نیافته و در هر زمانی امکان یافت زمینه دیگری برای استفاده از این عنصر وجود دارد . در شکل 1 برخی مصارف مختلف آلیاژهای آلومینیم در صنعت نشان داده شده است .





الف - قطعات مختلف تولید شده از طریق فشارکاری



ب - مصارف آلومینیوم در مصارف اتومبیل سازی

شکل 1-1 - مصارف مختلف آلومینیوم

## استخراج آلومینیم

آلومینیم به میزان 8٪ در پوسته زمین وجود دارد و از نظر ذخیره بعد از اکسیژن به میزان حدود 47٪ و سیلیسیم در حدود 28٪ سومین عنصر فراوان در زمین محسوب می شود.

در تمام سنگ ها و خاک ها وجود دارد و بیشتر به صورت سیلیکات های آلومینیم با فرمول عمومی  $mSiO_2$   $nAl_2O_3$  دیده می شود.

مهمترین ماده معدنی تجارتي محتوی آلومینیم بوکسیت « Bauxite » نام دارد. از نظر تاریخی این نام از دهکده بوکس « Baux » در جنوب فرانسه انتخاب شده است که در آنجا سنگ معدنی با ترکیب 52٪ آلومین  $Al_2O_3$ ، 27/5٪ اکسید آهن  $Fe_2O_3$  و 20/5٪ آب  $H_2O$  یافت شده است. از آن تاریخ به کلیه سنگ های معدنی آلومینیم که حاوی ترکیبات آلومینیم و اکسید آهن هستند، بوکسیت گفته می شود هر چند که نسبت ترکیب آنها با مقدار فوق تفاوتی زیادی نیز داشته باشد.

ترکیب عمومی سنگهای بوکسیت که به منظور استخراج و تهیه آلومینیم به کار می روند به صورت روبرو می باشد. این ترکیب به طور کلی در تمام جهان یافت می شود ولی نحوه استخراج آنها از نظر مقدار آب

موجود متفاوت است.

۴۰ تا ۶۰ درصد	$Al_2O_3$
« ۵ تا ۲۰ »	$Fe_2O_3$
« ۱ تا ۸ »	$SiO_2$
« ۲ تا ۴ »	$TiO_2$
« ۱۲ تا ۳۰ »	$H_2O$

1-2 ترکیبات بوکسیت

در حال حاضر مهمترین منابع بوکسیت در فرانسه، آفریقای غربی، جامائیکا، استرالیا، مجارستان، مجارستان، یوگسلاوی و یونان قرار دارد. در ایران منابع بوکسیت پراکنده و غیر متمرکز است. و هنوز استخراج صنعتی آنها آغاز نشده است آلومینای مورد مصرف در کارخانه های ایرالکو در اراک از خارج وارد می شود.

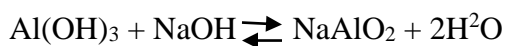
فرآیند بایر: برای تهیه آلومینیم از سنگهای معدنی، اولین مرحله عملیات پس از استخراج کانی آلومینیم تهیه آلومین خالص است.

فرآیند بایر، عمده ترین روش تهیه آلومین خالص از بوکسیت است که پس از خرد کردن، آسیا کردن و نرم کردن سنگ آن را در محلول غلیظ سود سوزآور «NaOH» در درجه حرارت حدود 240 درجه سانتیگراد حل می کنند.

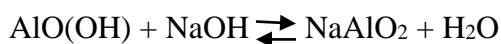
محلول سود، قسمت اعظم آلومین را در خود حل کرده و پس ماندهای غیر محلول مشتمل بر اکسید آهن، سیلیس و قسمتی از آلومین نامحلول را پس از سرد کردن محلول از طریق پالایه « صافی » « Filter » حذف می کنند.

واکنش هایی در عمل انجام می گیرند عبارتند از:

الف: واکنش های هیدرات آلومینیم



ب: واکنش های منوهیدرات آلومینیم

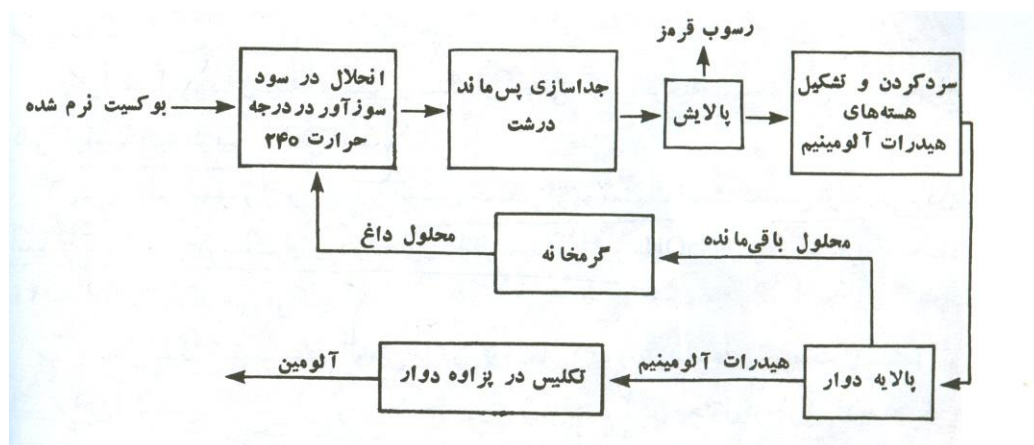


در عمل هر دو واکنش نسبت به درجه حرارت حساس می باشند. اگر غلظت سود و درجه حرارت بالا باشد، هر دو واکنش به سمت راست و در غیر این صورت به سمت چپ فعال می شوند. لذا پس از حذف ناخالصیهای نامحلول، و در جریان سرد کردن، هسته های بلوری هیدرات آلومینیم تشکیل می شود. پس از پالایه مجدد و تکلیس باقی مانده در درجه حرارت 1200 درجه سانتیگراد که عموماً در پزاوه های ( کوره های ) دوار انجام می گیرد، هیدرات آلومین تجزیه شده و آلومین که برای الکترولیز مناسب می باشد باقی می ماند. در شکل 2 مراحل مختلف این روش که در صنعت به کار می رود نشان داده شده است.

الکترولیز ( احیا و ذوب ): در شکل 3 نمای یکی از کوره های الکترولیز آلومینیم با دو آند نشان داده شده است. قسمت های اصلی در این شکل عبارتند از:

جداره کوره که از یک پوسته فولادی، آجرهای نسوز و عایق تشکیل یافته است. داخل جداره کاتد از کربن و یا تکه های گرافیت ساخته شده است که از قیر و یا گرد ذغال کک نیز برای همبندی به عنوان

چسب استفاده به عمل آمده است . در داخل محفظه کاتد ، محلول الکترولیت که از کریولیت مذاب و افزوده هایی نظیر فلئور کلسیم ، فلئور آلومینیم و آلومین تشکیل شده است قرار می گیرد .



شکل 2-1- فرآیند بایر

ترکیب عمومی محلولهای الکترولیت در الکترولیز آلومین به شرح زیر است :

کریولیت 75 تا 90 درصد به فرمول  $Na_3AlF_6$  (فلئورور مضاعف سدیم و آلومینیم)

آلومینیم 2 تا 8  $Al_2O_3$

فلئور آلومینیم تا 10  $AlF_3$

فلئور کلسیم تا 5  $CaF_2$

آند که از نظر تعداد و بر حسب اندازه ی هر سلول تا 20 عدد نیز می رسد ، از زغال و یا الکترودهای «Soderberg» ( الکتروده از کربن بی شکل ) ساخته می شود .

عمل الکترولیز در درجه حرارتی حدود 1000 درجه سانتیگراد انجام می گیرد و آلومینیم حاصل از تجزیه آلومین در سطح کاتد و در کف کوره جمع می شود .

در کاتد سدیم آزاد شده ولی به سرعت با یکی از فلئورها ترکیب شده و از این رو غلظت کریولیت ثابت می ماند .

ولتاژ و اختلاف پتانسیل حدود 5 ولت می باشد ولی با کاهش مقدار آلومین ، اختلاف پتانسیل افزایش یافته و در خاتمه کار ممکن است به 30 ولت نیز برسد . در عمل چندین سلول را به طور سری قرار می دهند تا عملاً با اختلاف پتانسیل حدود 500 تا 600 ولت کار کند .

در این حال آلومینیم حاصل از نظر تجارתי درجه خلوصی بیش از 99/5 درصد دارد و ناخالصی های عمده آن و نسبت ترکیبی آنها به صورت زیر می باشد :

سیلیسیم Si تا 0/1 درصد مس Cu تا 0/002 درصد

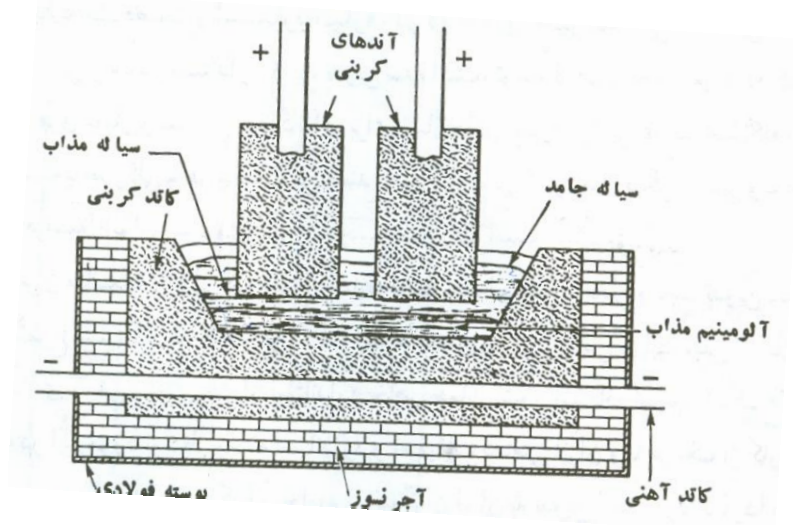
آهن Fe تا 0/12 درصد منگنز Mn تا 0/003 درصد

گالیم Ga تا 0/015 درصد وانادیم V تا 0/002 درصد

روی Zn تا 0/012 درصد منیزیم Mg تا 0/005 درصد

تیتانیم Ti تا 0/002 درصد سدیم Na تا 0/003 درصد

در عمل همواره سعی می گردد که با کنترل صحیح در محلول الکترولیت و انتخاب کاتد و آند خالص و آلومین اولیه درجه خلوص بیشتری که تا 99/9 درصد نیز می رسد به دست آید . آلومینی ویژه دارای درجه خلوصی زیاد و با ترکیب 99/999 درصد نیز در روش های دیگر محلول و انتقال مذاب به دست می آید.



شکل 3-1- سلول الکترولیز تهیه آلومینیوم خلاص تجارتي

# ریخته گری آلومینیم و آلیاژهای آن

## مشخصات ریخته گری و ذوب

آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل نقطه ذوب کم و برخورداری از سیالیت بالنسبه خوب و همچنین گسترش خواص مکانیکی و فیزیکی در اثر آلیاژسازی و قبول پدیده های عملیات حرارتی و عملیات مکانیکی ، در صنایع امروز از اهمیت زیادی برخوردارند و روز به روز موارد مصرف این آلیاژها توسعه می یابد . عناصر مختلف مانند سیلیسیم ، منیزیم و مس در خواص ریخته گری و مکانیکی این عنصر شدیداً تأثیر می گذارند و یک رشته آلیاژهای صنعتی را پدید می آورند که از مقاومت مکانیکی ، مقاومت به خوردگی و قابلیت ماشین کاری بسیار مطلوب برخوردارند .

## تقسیم بندی آلیاژها

آلیاژهای آلومینیم در اولین مرحله به دو دسته تقسیم می گردند :

الف) آلیاژهای نوردی ( Wrought Alloys ) که قابلیت پذیرش انواع و اقسام کارهای مکانیکی ( نورد ، اکسیژن و فلزگری ) را دارند .

ب) آلیاژهای ریخته گری ( Casting Alloys ) که در شکل ریزی و ریخته گری های آلومینیم با گسترش بسیار مورد استفاده اند . آلیاژهای نوردی که در مباحث شکل دادن مورد مطالعه قرار می گیرند از طریق یکی از روش های شمش ریزی ( مداوم ، نیمه مداوم ، منفرد ) تهیه می گردند و پس از قبول عملیات حرارتی لازم ، تحت تأثیر یکی از روش های عملیات مکانیکی به شکل نهایی در می آیند . مشخصات عمومی و ترکیب این نوع آلیاژها در جدول 1-2 درج گردیده است .

آلیاژهای ریخته گری آلومینیم که مورد بحث نیز می باشند از طریق مختلف ریخته گری ( ماسه ای ، پوسته ای ، فلزی و تحت فشار ) شکل می گیرند و مستقیماً یا بعد از عملیات حرارتی ( در صورت لزوم ) در صنعت استفاده می شوند . این آلیاژها در جدول 3-1 درج گردیده است .

درمورد آلومینیم و سایر آلیاژها کشورهای مختلف استانداردهای متفاوتی بکار می برند که مشخصه درجه خلوص و یا میزان ناخالصی ها و سایر ترکیبات آلیاژ می باشد . استاندارد آلیاژهای آلومینیم علاوه بر مشخصه های ارقامی که در جدول 2-1 و 3-1 درج گردیده است به کمک رنگهای اصلی نیز انجام می گیرد . نمونه چنین رنگهایی در استاندارد انگلیسی عبارتست از :

رنگ سفید	آلومینیم خالص
رنگ سبز	آلومینیم - مس
رنگ سیاه	آلومینیم - منیزیم
رنگ قهوه ای	آلومینیم - مس - نیکل
رنگ آبی	آلومینیم - روی - مس
رنگ زرد	آلومینیم - سیلیسیم ( منیزیم )
رنگ قرمز	آلومینیم - سیلیسی ( مس )

آنتیموان	کروم			تیتانیوم و یا دیگر عوامل ریزکننده	قلع	سرب	روی	نیکل		منگنز		آهن		سیلیسیم		منیزیم		مس		آلومینیم*	استاندارد	
	مکربن	مکروسیلیسیم	میکروسیلیسیم					مکربن	مکروسیلیسیم	میکروسیلیسیم	مکربن	میکروسیلیسیم	مکربن	میکروسیلیسیم	مکربن	میکروسیلیسیم	مکربن	میکروسیلیسیم	مکربن			میکروسیلیسیم
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۹۹/۹۹	۱	
-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۶	-	-	۰/۰۲	-	۰/۱۵	-	۰/۱۵	-	-	-	-	۰/۰۲	-	۹۹/۸	۱A
-	-	-	-	-	-	-	۰/۱۰	-	-	۰/۰۵	-	۰/۲	-	۰/۳	-	-	-	-	۰/۰۵	-	۹۹/۵	۱B
-	-	-	-	-	-	-	*۰/۱۰	-	-	۰/۱	-	۰/۷	-	۰/۵	-	-	-	-	۰/۱۰	-	۹۹/۰	۱C
-	-	-	-	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	*۰/۲	-	۰/۵	-	۰/۶	-	۱۳	۱۰	*۰/۲۵	-	-	-	۰/۱۰	-	باقی مانده	N۲
-	-	-	-	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	*۰/۲	-	۰/۵	-	۰/۶	-	۶	۴/۵	*۰/۲۵	-	-	-	۰/۱۰	-	"	N۲۱
-	-	-	۰/۲	-	-	*۰/۲	-	-	۱/۵	۱	۰/۷	-	۰/۶	-	-	-	-	-	۰/۱۰	-	"	N۳
-	۰/۲۵	-	۰/۱۵	-	-	*۰/۲	-	-	۰/۵	-	۰/۵	-	۰/۶	-	۲/۸	۱/۷	-	-	۰/۱۰	-	"	N۴
-	۰/۲۵	-	۰/۱۵	-	-	*۰/۲	-	-	۰/۶	-	۰/۵	-	۰/۶	-	۲	۲/۸	-	-	۰/۱۰	-	"	N۵
-	۰/۲۵	-	۰/۱۵	-	-	*۰/۲	-	-	۱	-	۰/۵	-	۰/۶	-	۵/۵	۴/۵	-	-	۰/۱۰	-	"	N۶
-	۰/۲۵	-	۰/۱۵	-	-	*۰/۲	-	-	۰/۵	-	۰/۵	-	۰/۶	-	۷/۵	۶/۵	-	-	۰/۱۰	-	"	N۷
-	۰/۲۵	-	۰/۱۵	-	-	*۰/۲	-	-	۱	۰/۵	۰/۲	-	۰/۲	-	۴/۹	۴	-	-	۰/۱۰	-	"	N۸
-	۰/۱۰	-	۰/۲	-	-	*۰/۱	-	-	۰/۳	-	۰/۵	-	۰/۷	۰/۳	۰/۹	۰/۲	-	-	۰/۱۰	-	"	H۹
-	۰/۱۰	-	۰/۲	-	-	*۰/۱	-	-	۰/۲	-	۰/۶	-	۱/۳	۰/۶	۱/۵	۰/۲	-	-	۰/۱۰	-	"	H۱۹
-	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۲	-	-	*۰/۲	-	-	۰/۸	۰/۲	۰/۷	-	۰/۸	۰/۲	۱/۲	۰/۸	-	-	۰/۳۰	۰/۱۵	"	H۲۰
-	۰/۳	-	۰/۲	-	-	*۰/۱	-	-	۱	۰/۲	۰/۵	-	۱/۳	۰/۶	۱/۳	۰/۲	-	-	۰/۱۰	-	"	H۳۰
۰/۰۵	-	-	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	*۰/۲	-	۱	-	۰/۷	-	۱/۳	۰/۸	۱/۲	۰/۵	-	-	۲	۱	"	H۱۱
۰/۰۵	-	-	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	۱/۲	۰/۶	۰/۵	-	۱/۲	۰/۶	۱/۳	۰/۵	۱/۲	۰/۶	-	-	۲/۸	۱/۸	"	H۱۲
۰/۰۵	+۰/۳	-	+۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	*۰/۲	-	۱	۰/۲	۰/۷	-	۰/۷	۰/۲	۱/۲	۰/۲	-	-	۴/۷	۳/۵	"	H۱۳
۰/۰۵	+۰/۳	-	+۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	*۰/۲	-	۱/۲	۰/۳	۰/۷	-	۰/۹	۰/۵	۰/۸	۰/۲	-	-	۴/۸	۳/۸	"	H۱۵
۰/۰۵	-	-	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵	*۰/۲	۱/۲	۰/۶	*۰/۲	-	۱/۲	۰/۶	۱/۳	-	۱/۶	۱/۲	-	-	۲/۷	۱/۸	"	H۱۸

+ مجموع آهن- مس - سیلیسیم از ۰/۱ بیشتر نباشد

\* خالصی بیشتر از مقدار مندرج نباشد

+ جمع تیتانیوم و سایر مواد ریزکننده و کروم از ۰/۳ درصد تجاوز نکند

جدول (۱-۲) آلیاژهای نوردی آلومینیم (استاندارد انگلیسی)



در ایران متأسفانه هنوز استاندارد برای صنایع آلومینیم بکار نمی رود و به رابطه کارخانه با کشورهای مختلف سیستم های متفاوت انگلیسی ، آمریکائی ، بلژیکی و . . . بستگی دارد . مقایسه استانداردهای مختلف جهانی تقریباً مشکل و در مورد آلیاژهای نوردی مطابق جدول 4-1 می باشد . درمورد آلیاژهای ریختگی نیز با اندک تفاوت چنین مقایسه ای امکان پذیر می باشد .

## مواد شارژ و آماده کردن آنها

مواد مختلفی که در ریخته گری آلیاژهای آلومینیم بکار می روند ، براساس نوع ترکیب خواسته شده شرایط ترمودینامیکی عبارتند از : شمش های اولیه ، شمش های دوباره ذوب ، قراضه ها ، برگشتی ها و آلیاژسازها (Hardeners) . تفاوت عمده بین شمش های اولیه و شمش های دوباره ذوب آنست که شمش های اولیه که از کارخانه جات ذوب بدست می آیند حاوی مقادیر زیادی ناخالصی و گاز می باشند که تأثیر منفی و نامطلوب در قطعه ایجاد می نمایند در حالی که شمش های ثانویه در اثر خروج ناخالصی ها و سایر موارد ( براساس تصفیه ) از کیفیت ترکیبی برتری برخوردار می باشند .

## شمش های اولیه

این شمش ها در قطعات 5 تا 15 کیلوگرمی براساس درجه خلوص تهیه می شوند . وزن شمش های خالص که حاوی ترکیب دقیق شیمیایی می باشند معمولاً از 5 کیلوگرم تجاوز نمی نماید . استاندارد و مشخصات شمش های اولیه در جدول 3-1 درج گردیده اند . این شمش ها معمولاً درمورد ساخت قطعات که از کنترل کیفی بسیار مطلوب برخوردارند استفاده می شوند و قیمت آنها نیز بر حسب درجه خلوص و تقلیل ناخالصی ها به صورت تصاعدی افزایش می یابد .

در ساخت آلیاژهای آلومینیم ، بسیاری از عناصر مستقیماً به آلیاژ مذاب افزوده می شوند که در این مورد شمش های اولیه خالص این عناصر نیز مورد استفاده اند . این شمش ها عبارتند از :

**روی** - شمش های روی با درجه خلوص 89/7 تا 99/5 درصد روی در استانداردهای مختلف بین المللی تهیه می شوند و همواره حاوی ناخالصی هایی از قبیل مس ، کادمیوم ، آهن ، سرب و گاهی قلع و آنتیموان می باشند .

در ذوب آلومینیم معمولاً از شمش های روی با درجه خلوص 99/9 استفاده می شود تا میزان ناخالصی ها ، بخصوص آهن تقلیل یابد . نقطه ذوب روی  $419^{\circ}\text{C}$  و وزن مخصوص آن 7/1 گرم بر سانتیمتر مکعب است .

**منیزیم** - در مواقعی که درصد کمی از منیزیم مورد نیاز باشد ، می توان مستقیماً منیزیم را به مذاب آلومینیم اضافه نمود که شمش های آن با درجه خلوص 99/9 حاوی ناخالصی هایی از قبیل آهن ، سدیم ، آلومینیم ، پتاسیم ، مس و نیکل می باشند . نقطه ذوب منیزیم  $650^{\circ}\text{C}$  و وزن مخصوص آن 1/74 و در شمش های 2/5 تا 15 کیلوگرمی تهیه می شوند .

**سیلیسیم** - این عنصر به دو صورت سیلومین و یا سیلیسیم کریستالیزه به آلومینیم اضافه می شود . ترکیبات سیلومینی با 10 تا 13 درصد سیلیسیم در جدول 3-1 درج شده اند . شمش سیلیسیم کریستالیزه با درجه خلوص 99/5 تا 99/9 درصد سیلیسیم همراه ناخالصی هایی از قبیل آهن ، آلومینیم دارای نقطه ذوبی حدود  $1400^{\circ}\text{C}$  و وزن مخصوص آن 2/4 می باشد .

منگنز ، مس ، آهن ، نیکل ، کرم مستقیماً به مذاب آلومینیم اضافه نمی گردند و درمورد این عناصر معمولاً از آمیزان ها استفاده می کنند .



خواص مکانیکی *											خواص فیزیکی				ترکیب شیمیایی عناصر %									
استاندارد		مقاومت کششی		مقاومت تسلیم		کشش		شدت تابش		شدت تابش		شدت تابش		شدت تابش		شدت تابش		شدت تابش		شدت تابش		شدت تابش		
استاندارد	مقاومت کششی	مقاومت تسلیم	کشش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش	شدت تابش		
A5	۲۰	۱۷	-	۵۸	۱/۸	-	۶۵۸	۲۳x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۵	۲/۸	۰/۸	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵		
A-U <sub>1</sub> NTI	۲۵ (<۰/۵)	۱۷ (<۰/۵)	۷۰ (<۰/۵)	۱۰/۸ (۷/۶)	۷/۶ (۵/۳)	۱۰/۸ (۷/۶)	۶۲۵-۵۲۵	۲۲/۵x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۸	۲/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		
A-U <sub>1</sub> GTI	۵ (۳)	۷ (۵)	۸۵ (۸۵)	۱۸ (۱۲/۶)	۱۱/۳ (۱۱/۳)	۱۲/۸ (۱۲/۸)	۶۵۰-۵۲۰	۲۳x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۳	۲/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		
A-U <sub>1</sub> S	۷۵ (<۰/۵)	۷۵ (<۰/۵)	۸۰ (۸۰)	۱۰/۸ (۷/۶)	۷ (۵/۳)	۱۰/۸ (۷/۶)	۶۱۵-۵۱۵	۲۲/۵x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۲	۲/۸	<۰/۵	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		
A-U <sub>1</sub> G	۱۱۰ (۱۱۰)	۱۱۰ (۱۱۰)	۱۱۰ (۱۱۰)	۱۱/۳ (۷/۶)	۷/۵ (۳/۳)	۱۱/۳ (۷/۶)	۶۲۵-۵۲۵	۲۱/۸x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۲	۲/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		
A-U <sub>1</sub> S <sub>۲</sub>	۲ (۱/۵)	۲ (۱)	۲ (۱)	۱۳ (۱۲/۸)	۱۳ (۱۲/۸)	۱۳ (۱۲/۸)	۶۰۵-۵۰۵	۲۱/۵x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۵	۲/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		
A-S <sub>۲</sub> U	۲ (۱/۵)	۲ (۱)	۲ (۱)	۱۳ (۱۲/۸)	۱۳ (۱۲/۸)	۱۳ (۱۲/۸)	۶۲۵-۵۲۵	۲۲x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۲	۲/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		
A-S <sub>۲</sub> G	۱ (۱)	۱ (۱)	۱ (۱)	۱۳ (۱۲/۸)	۱۳ (۱۲/۸)	۱۳ (۱۲/۸)	۶۲۰-۵۲۰	۲۳x۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۳۹	۲/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸	<۰/۸		

جدول ۱-۳ الف) مشخصات و ترکیب الیازهای ریختگی آلومینیم (استاندارد فرانسوی)  
 اعداد داخل پرانتز از قطعات ریختگی حقیقی بدست آمده‌اند.



Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Cr	Ti	علامت استاندارد
باقی			۱۲	۰/۸۵						۱۳
*			۱۲						۰/۱۴	A۱۳
			۵							۴۳
	۴		۳							۱۰۸
	۴/۵		۵/۵							A۱۰۸
	۷									۱۱۲
	۷		۲							۱۱۳
	۷		۳/۵							C۱۱۳
	۱۰	۰/۲								۱۲۲
	۰/۸	۱/۲	۱۲			۲/۵				A۱۳۲
	۳	۱	۹/۵			۱				D۱۳۲
	۳	۳	۹/۵							F۱۳۲
	۱۰	۰/۳	۴							۱۳۸
	۸	۶			۰/۵	۰/۵				A۱۴۰
	۴	۱/۵				۲			۰/۱۴	۱۴۲
	۴/۱	۱/۵				۲		۰/۲	۰/۱۴	A۱۴۲
	۴/۵		۰/۸							۱۹۵
	۴/۵		۲/۵							B۱۹۵
	۸		۱/۲							۲۱۲
		۳/۸								۲۱۴
		۳/۸					۱/۸			A۲۱۴
		۳/۸	۱/۸							B۲۱۴
		۳/۸			۰/۵					C۲۱۴
		۳/۸	۰/۵							F۲۱۴
		۴/۳	۰/۷	۱/۷	۰/۵					L۲۱۴
		۸								۲۱۸
		۱۰								۲۲۰
	۳/۵		۶/۳							۳۱۹
	۳/۸		۹							۳۲۳
			۷							۳۲۴
	۱/۳	۰/۵	۵					۰/۱۴		۳۵۵
	۱/۴	۰/۵	۵		۰/۸					A۳۵۵
	۱/۲	۰/۵	۵					۰/۱۵		B۳۵۵
*	۱/۳	۰/۵	۵					۰/۱۴		C۳۵۵
*	۱/۳	۰/۵	۵					۰/۱۴		D۳۵۵
		۰/۳	۷					۰/۱۴		۳۵۶
*		۰/۳	۷					۰/۱۴		A۳۵۶
		۰/۳	۷					۰/۱۴		B۳۵۶
		۰/۵	۷					۰/۱۵		۳۵۷
		۰/۵	۹/۵	۰/۹						۳۶۰
		۰/۵	۹/۵							A۳۶۰
		۰/۳	۸/۵							۳۶۴
	۴/۵		۹							۳۸۰
	۴/۵		۸/۵							A۳۸۰
	۴/۸		۱۲							۳۸۲
	۰/۵	۰/۷					۶/۵			A۶۱۲
	۰/۵	۰/۳					۶/۵			C۶۱۲
	۱					۱				V۵۰+
	۱		۲/۵			۰/۵				AV۵۰+
	۲	۰/۷				۱/۲				BV۵۰+

جدول ۱-۳ ب) آلیاژهای ریختگی آلومینیم (استاندارد امریکایی)

\* ترکیبات خالص + این سه آلیاژ هر یک شامل ۶/۵٪ قلع نیز می باشند

استاندارد	Al	تمام ارقام این جدول به جز در مواردی که حدود مشخص شده است ماکزیمم هستند						Ti	Zn	Pb	Sn
		Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni				
LM ۰	۹۹/۵۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳
LM ۱	Re	۶-۸	۰/۱۵	۲-۴	۱	۰/۶	۰/۵	۰/۲	۲-۴	۰/۳	۰/۲
LM ۲	"	۰/۷-۲/۵	۰/۳۰	۹-۱۱/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۲	۱/۲	۰/۳	۰/۲
LM ۳	"	۲/۵-۴/۵	۰/۱۰	۱/۳	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۹-۱۳	۰/۳	۰/۲
LM ۴	"	۳-۴	۰/۱۵	۴-۶	۰/۸	۰/۳-۰/۷	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۰/۰۵
LM ۵	"	۰/۱	۳-۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳-۰/۷	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
LM ۶	"	۰/۱	۰/۱۰	۱۰-۱۳	۰/۶	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
LM ۸	"	۰/۱	۰/۳-۰/۸	۳/۵-۶	۰/۶	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
LM ۹	"	۰/۱	۰/۲-۰/۶	۱۰-۱۳	۰/۶	۰/۳-۰/۷	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
LM ۱۰	"	۰/۱	۹/۵-۱۱	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
LM ۱۱	"	۴-۵	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
LM ۱۲	"	۹-۱۱	۰/۲-۰/۴	۲/۵	۱	۰/۶	۰/۵	۰/۲	۰/۸	۰/۱	۰/۱
LM ۱۳	"	۰/۵-۱/۳	۰/۸-۱/۵	۱۱-۱۳	۰/۸	۰/۵	۰/۷-۲/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
LM ۱۴	"	۳/۵-۴/۵	۱/۲-۱/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱/۸-۲/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
LM ۱۶	"	۱-۱/۵	۰/۴-۰/۶	۴/۵-۵/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۱۵	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
LM ۱۸	"	۰/۱	۰/۱۰	۴/۵-۶	۰/۶	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
LM ۲۰	"	۰/۴	۰/۱۵	۱۰-۱۳	۰/۷	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵
LM ۲۱	"	۳-۵	۰/۱-۰/۳	۵-۷	۱	۰/۳-۰/۶	۰/۳	۰/۲	۲	۰/۲	۰/۱
LM ۲۲	"	۲/۸-۳/۸	۰/۰۵	۴-۶	۰/۷	۰/۳-۰/۶	۰/۱۵	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۵
LM ۲۳	"	۰/۸-۲	۰/۰۵-۰/۲	۱/۵-۲/۸	۰/۸-۱/۴	۰/۱	۰/۸-۱/۷	۰/۰۵-۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
LM ۲۴	"	۳-۴	۰/۱	۷/۵-۹/۵	۱/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۳	۰/۳	۰/۲

جدول ۱-۳ پ) آلیاژهای ریختگی آلومینیم (استاندارد انگلیسی)

بلژیک علامت	فرانسه		آلمان		انگلستان		امریکا	
	استاندارد	علامت	استاندارد	علامت	استاندارد	علامت	استاندارد	علامت
Al ۹۹/۹۹	A۹ NF۵۷/۶۰۱	Al۹۹/۹۹	DIN۱۷۲۵	۱	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۱۰۹۹	A.A.	
Al ۹۹/۸	A۸ NF۵۷/۶۰۱	Al۹۹/۸	DIN۱۷۲۵	۱A	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۱۰۸۵	A.A.	
Al ۹۹/۵	A۵ NF۵۷/۶۰۱	Al۹۹/۵	DIN۱۷۲۵	۱B	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۱۰۹۵	A.A.	
Al ۹۹	A۴ NF۵۷/۶۰۱	Al۹۹	DIN۱۷۲۵	۱C	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۱۱۰۰	A.A.	
AlMn	AM NF۵۷/۶۰۱	AlMn	DIN۱۷۲۵	N۳	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۳۳.۳	A.A.	
AlMg1	AG1 NF۵۷/۵۱۲	—	—	—	—	۵۰۵۰	A.A.	
AlMg3	AG3 NF۵۷/۵۱۲	AlMg3	DIN۱۷۲۵	N۴	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۵۰۵۲	A.A.	
AlMg4	AG4 NF۵۷/۵۱۲	—	—	N۵ <sub>۲</sub> N۸	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۵۲۵۴	A.A.	
AlMg5	AG5 NF۵۷/۳۱۲	AlMg5	DIN۱۷۲۵	N۶	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۵۰۵۶	A.A.	
AlMg1Si1	ASG NF۵۷/۳۱۲	AlMgSi	DIN۱۷۲۵	H۳۰	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	—	—	
AlMgSi	ASG NF۵۷/۳۱۲	AlMgSi	DIN۱۷۲۵	H۹	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۶۰۶۳	A.A.	
AlCu4Mg	AU4G NF۵۷/۶۰۲	AlCuMg	DIN۱۷۲۵	H۱۴	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۲۰۱۷	A.A.	
AlCu4Mg1	AU4G1 NF۵۷/۶۰۲	AlCuMg	DIN۱۷۲۵	H-	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۲۰۲۴	A.A.	
AlCu4MgSi	AUG NF۵۷/۶۰۲	—	—	H۱۵	BS۱۴۷۰-۱۴۷۷	۲۰۱۴	A.A.	

جدول ۴-۱) مقایسه استانداردهای بین‌المللی

### شمش های دوباره ذوب ( ثانویه ) و قراضه

شمش های ثانویه که از ذوب و تصفیه قراضه ه و آلیاژهای برگشتی تهیه می شوند معمولاً از کنترل کیفی مطلوب برخوردارند و حاوی مقداری ناخالصی های معمولی در آلومینیم مانند مس ، آهن و سیلیسیم هستند .

قراضه ها و قطعات برگشتی بایستی به دقت از نظر ترکیب شیمیایی کنترل و دسته بندی شوند . استفاده مستقیم از قراضه ها و قطعات کوچک ( براده ، پلیسه و اضافات تراشکاری ) به دلیل افزایش سطح تماس و شدت اکسیداسیون عملاً نامطلوب می باشد و ترجیحاً این قطعات را تحت نیروی پرسهای هیدرولیکی فشرده و در بلوکه های مختلف به کار می برند . برگشتی ها همچنین آغشته به روغن گریس ، رطوبت و ... می باشند که بایستی قبل از استفاده و ذوب دقیقاً تمیز و از کثافات روغن برکنار باشند و معمولاً از دستگاه های دوار و خشک کننده در این مورد استفاده می کنند .



از آنجا که قراضه ها معمولاً ترکیبات ناشناخته ای دارند ، اغلب ترجیح داده می شود که آنها را در کارگاه ریخته گری ذوب و پس از کنترل و آنالیز کیفی مورد استفاده قرار دهند .

### 3-3-1 آلیاژسازها ( Hardeners )

این عناصر که نام های Master Alloys و Temper Alloys نیز نامیده می شوند به مقدار زیادی در صنایع ریخته گری آلومینیم بکار می روند ، زیرا آلومینیم با نقطه ذوب کم اغلب قادر به ذوب و پذیرش مستقیم عناصر با نقطه ذوب بالا نیست ( مس  $1083^{\circ}\text{C}$  ، منگنز  $1244^{\circ}\text{C}$  ، نیکل  $1455^{\circ}\text{C}$  ، سیلیسیم  $1415^{\circ}\text{C}$  ، آهن  $1539^{\circ}\text{C}$  ، تیتانیوم  $1660^{\circ}\text{C}$  )

همچنین عناصر دیگری که نقطه ذوب بالا ندارند ، دارای فشار بخار و شدت تصعید و اکسیداسیون می باشند که در صورت استفاده مستقیم درصد اتلاف این عناصر شدیداً افزایش می یابد ( منیزیم ، روی ) . ترکیب شیمیایی و نقطه ذوب بعضی از آمیزان که در صنایع آلومینیم بکار می روند در جدول 5-1 درج گردیده است و مشخصات متالورژیکی آلیاژها در فصل جداگانه ای مورد مطالعه قرار خواهد گرفت . تهیه آلیاژسازها معمولاً در کارگاههای ریخته گری نیز انجام می گیرد در این مواقع اغلب روش های زیر مورد استفاده است .

معمولاً قطعات عنصر دیر ذوب را زیر نموده و در فویل های آلومینیمی پیچیده و یا در شناورهای گرافیتی قرار داده و در داخل مذاب آلومینیم (  $800^{\circ}\text{C}$  تا  $850^{\circ}\text{C}$  تحت فلاکس ) فرو می برند و سپس آن را بهم می زنند . در بعضی موارد و در صورت امکان از دو کوره ذوب استفاده می نمایند و بعد از ذوب دو عنصر ، آنها را با هم مخلوط می کنند . این عمل درمورد اجسامی که تا  $1100^{\circ}\text{C}$  نقطه ذوب دارند مقرون به صرفه است ولی درمورد عناصر با نقطه ذوب بالا عملاً مشکلاتی را فراهم می کند .

در جریان ذوب و ساخت آلیاژ و تنظیم شارژ علاوه بر مشخصات ترکیبی آلیاژ بایستی میزان اتلافات در جریان ذوب که به نوع کوره ، روش ذوب و روش تصفیه بستگی دارد ، مورد توجه قرار گیرد .

ترکیب	نقطه ذوب	ترکیب	نقطه ذوب
Al-Si	۸۵-۱۵ ۸۸-۱۲ ۵۰-۵۰	Al-Mg	۸۹ ۱۱ ۹۱ ۹
Al-Cu	۵۰-۵۰ ۵۵-۴۵	Al-Mn	۸۹ ۱۱ ۹۱ ۹ ۷۵ ۲۵
Al-Be	۹۷-۳	Al-Fe	۸۹ ۱۱ ۹۱ ۹ ۸۰ ۲۰ ۵۰ ۵۰
Al-Ni	۸۹-۱۱ ۹۱-۹ ۸۰-۲۰		۵۶۰ ۶۴۰ ۸۳۰ ۷۷۰ ۹۱۵ ۸۵۰ ۸۰۰ ۱۰۲۰ ۱۱۵۰

جدول (۱-۵) ترکیب شیمیایی و نقطه ذوب آلیاژسازها در آلومینیم

مثال: برای تهیه آلیاژی از آلومینیم با ترکیب ۵٪ سیلیسیم، ۴٪ منیزیم، ۲۵٪ مس و بقیه آلومینیم، مواد زیر موجود است:

## بخش دوم

# فعل و انفعالات شیمیای در مذاب

## ( ترکیبات و گازها )

آلومینیم فلزیست که بخصوص در حالت مذاب قابلیت فعل و انفعال شیمیایی و حلالیت فیزیکی با بسیاری از عناصر را دارد. این عنصر به سهولت نسبت به مواد محیط خود مانند هوا، محصولات سوخت، قالب، مواد آلیاژی و سایر عناصر که برای مقاصد خاص به آن افزوده می گردد، واکنش نشان می دهد. نتایج این واکنش ها به صورت ترکیبات فلزی، ترکیبات غیر فلزی (آخال ها) و گازهای حاصل و تخلخل در قطعه ریخته شده، ظاهر می شوند که هر یک به نوعی خواص مکانیکی و ریخته گری فلز را تقلیل می دهند.

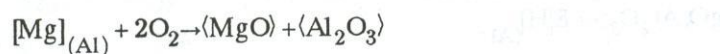
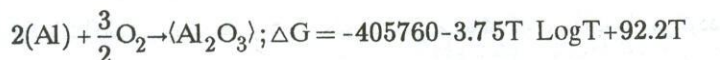
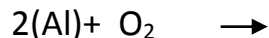
در این بخش ابتدا فعل و انفعالات موجود در آلومینیم مذاب و مواد محیطی آن و سپس هر یک از ترکیبات و محلول های ناخواسته مورد تشریح قرار می گیرند.

### فعل و انفعالات عمومی

در درجه حرارت ذوب آلومینیم، فعل و انفعالات شیمیایی مختلف بین مواد اکسیدی و ترکیبات مختلف و آلومینیم و مواد آلیاژی آن انجام می گیرد که حاصل آن به صورت مواد جامد غیر فلزی (اکسیدی) و یا حباب های گازی در قطعه باقی می ماند.

## فعل و انفصالات با هوا

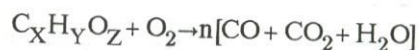
اکسیژن هوا و همچنین ازت موجود در آن مهمترین منشاء وجود ترکیبات غیر فلزی در مذاب آلومینیم هستند .



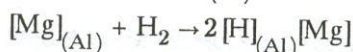
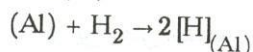
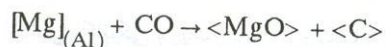
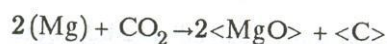
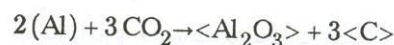
تمام عناصر حاصل از فعل و انفصال در حالت مذاب جامد بوده و تحت تأثیر قوانین استوک در مذاب شناور می شوند و به صورت مواد مذاب ناخواسته غیر فلزی در قطعه معایی را ایجاد می کنند .

## فعل و انفصالات با محصولات سوخت

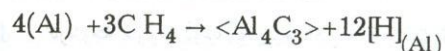
سوخت های فسیلی در تحت درجه حرارت اشتعال از صورت فرمولی زیر به  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  تجزیه می شوند.



سایر ترکیبات سوخت مانند  $\text{CH}_4$ ،  $\text{H}_2$  و  $\text{N}_2$  می توانند تا حدودی از شدت اکسیداسیون بکاهند ولی اغلب آنان به صورت دیگری گازهای محلول در مذاب را افزایش می دهند.



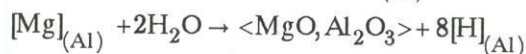
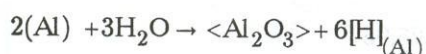
بایستی توجه داشت که کلیه گازها مانند  $\text{H}_2\text{O}$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  در مذاب آلومینیم نامحلول می باشند و فقط هیدروژن در آن حل می گردد و  $\text{CH}_4$  نیز در اثر تجزیه به هیدروژن و کربن تبدیل می شود.



کربن حاصل از فعل و انفعالات فوق در صورت وجود تیتان در مذاب با آن ترکیب شده و به صورت TiC در ریز کردن دانه های آلومینیم (grain refiner) تأثیر شدید دارد.

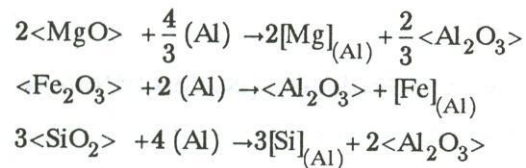
### فعل و انفعالات با بخار آب ( هوا ، قالب )

بخار آب از هر منبعی که حاصل شود با آلومینیم مذاب و مواد آلیاژی آن ترکیب می شود که نتیجه آن علاوه بر ترکیبات اکسیدی، وجود هیدروژن به صورت اتمی می باشد که در مذاب حل می گردد.



### فعل و انفعالات با مواد نسوز

مواد نسوز مورد استفاده در صنایع آلومینیم بیشتر از انواع گرافیت و ترکیبات سیلیسی می باشد تا امکان ترکیبات مختلف را کاهش دهد. مواد نسوز، اغلب از طریق مکانیکی شکسته و به مذاب آلومینیم افزوده می شود ولی در درجه حرارت های ذوب نیز وجود فعل و انفعالات زیر امکان پذیر می باشد:



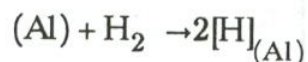
به استثناء فعل و انفعال با سیلیس که هنوز مورد تائید کامل قرار نگرفته است فعل و انفعالات دیگر در شرایط ذوب حاصل می گردند .

### فعل و انفعالات با هیدروژن

هیدروژن تنها گاز قابل حل در آلومینیم مذاب می باشد و به دلیل آنکه حلالیت آن در حالت جامد بسیار کم است ، گازهای خارج شده از حلالیت به صورت حباب و تخلخل در قطعه ریخته شده خواص مکانیکی را به شدت تقلیل می دهند .



هیدروژن از طریق بخار آب



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{P^2_{\text{H}}}{P_{\text{H}_2}}$$

و یا به صورت هیدروژن در هوا

$$-\Delta G^\circ = RT \ln \frac{P^2_{\text{H}}}{P_{\text{H}_2}}$$

و در تعادل حلالیت که  $G=0$  می باشد

$$P^2_{\text{H}} = P_{\text{H}_2} e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}}$$

و یا به عبارت دیگر

$$P_{\text{H}} = K_T \sqrt{P_{\text{H}_2}}$$

$$K_T \sqrt{P_{\text{H}_2}} = P_{[\text{H}]_{(\text{Al})}} - \gamma_{\text{H}_1} - \text{NH}_1$$

که در آن به ؟؟؟؟؟؟؟؟؟ و از آنجا

که با توجه به ثابت بودن  $\gamma_{\text{H}_1}$  و ؟؟؟؟؟؟؟؟؟ می توان نوشت  $\text{NH}_1 = K^1_T \sqrt{P_{\text{H}_2}}$

که در آن  $NH_2$  عبارتست از تعداد اتم هیدروژن که تحت فشار  $PH_2$  در آلومینیوم حل می شود و چون اغلب

$$NH_1 = K^1 \sqrt{760} \quad \text{فشار } H_2 \text{ برابر فشار اتمسفر می باشد:}$$

و در هنگامی که فشار  $H_2$  بیشتر از فشار اتمسفر باشد:

$$NH_{1(Pi)} = K_T^1 \sqrt{Pi(H_2)}$$

$$NH_1 = NH_1(760) \sqrt{\frac{Pi}{760}}$$

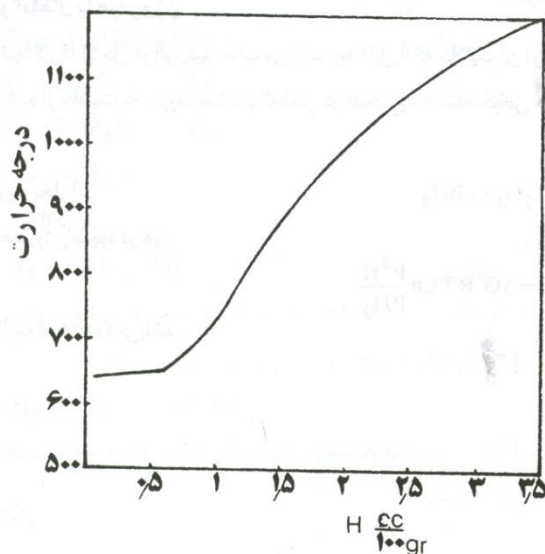
که چنانچه بجای تعداد اتم  $N$  درصد ترکیبی آن را بر صد گرم مذاب منظور کنند:

$$S(H_1)_{Pi} = SH_1(760) \sqrt{\frac{Pi}{760}}$$

و از معادلات ترمودینامیکی نیز معلوم است که:

$$\text{Log } S_{760}H_1 = -2760 T^{-1} + 2.765$$

و در نتیجه تحت هر فشار و درجه حرارت می توان درصد حلالیت هیدروژن را در آلومینیوم مذاب پیدا کرد. نمودار زیر حرارت هیدروژن در آلومینیوم مذاب با توجه به افزایش درجه حرارت نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: حلالیت هیدروژن در آلومینیوم مذاب

همانگونه که عناصر آلیاژی در چگونگی فعل و انفعالات شیمیایی و افزایش (تقلیل) اکسیداسیون مذاب مؤثر می باشند، در میزان حلالیت گاز هیدروژن در مذاب نیز مؤثر هستند. به طور مثال مس و سیلیسیم حلالیت هیدروژن در آلومینیم را تقلیل می دهند ولی منیزیم حلالیت را تشدید می کند، به طوریکه آلیاژی با 10٪ منیزیم دارای حلالیت تقریباً 2 برابر آلومینیم خالص است و 5٪ مس یا 6٪ سیلیسیم نیز قادرند حلالیت هیدروژن را تا 30٪ کاهش دهند.

علاوه بر فعل و انفعالات فوق مواد ناخالصی و مواد غیر فلزی از طرق مکانیکی، در جریان ذوب، کاربرد وسایل ذوب، حمل و نقل، مواد قالب و... نیز به داخل مذاب رانده می شوند که ممکن است به همان صورت در مذاب باقی بمانند و یا تحت تأثیر یکی از فعل و انفعالات فوق، تغییرات ترکیبی آلیاژ را نیز باعث شوند.

### ترکیبات در ذوب آلومینیم

ترکیبات مختلفی که در آلیاژهای آلومینیم پدید می آیند و جزء ترکیبات و یا فازهای اصلی خواسته شده در مذاب نیستند به صورت ناخالصی های فلزی، ترکیبات فلزی، ترکیبات غیر فلزی و ترکیبات گازی دسته بندی می شوند که هر یک به نوعی خواص آلیاژ را تحت تأثیر قرار می دهند.

ناخالصی های فلزی عموماً تحت نام ناخالصی مشکلات جدی را فراهم نمی کنند، زیرا بیشتر عناصر در محدوده کوچکی قابلیت انحلال در آلومینیم مذاب را دارند و ناخالصی های موجود اغلب در حد حلالیت باقی می مانند. ناخالصی های فلزی همان گونه که جدول بخش اول استنباط می گردد بیشتر از مواد معدنی و در تهیه شمش ها حاصل می گردند و چنانچه مقدار آنها از حد حلالیت تجاوز نماید به صورت ترکیبات غیر فلزی و با تشکیل فاز دوم در آلیاژ ظاهر می شوند که اگر ترکیب آنها جزء خواسته های آلیاژی نباشند خواص فیزیکی و مکانیکی آلیاژ را شدیداً تغییر می دهند.



## ترکیبات بین فلزی

ترکیبات بین فلزی در دو صورت کاملاً مجزا در آلیاژ آلومینیم ظاهر می شود. در حالت اول ترکیب جزء خواست آلیاژی است و خواصی از آن انتظار می رود و در حالت دوم ترکیباتی هستند که در اثر جدایش و یا حضور ناخالصی های غیر فلزی حاصل می شوند. ترکیبات فلزی عموماً سخت و دیر ذوب هستند و در ته بوته و یا در سرباره متمرکز می شوند. مهمترین ترکیبات فلزی در آلیاژهای آلومینیم عبارتند از:

**الف) ترکیبات آهن:** آهن یکی از ناخالصی های معمولی در آلومینیم می باشد و می تواند تا میزان 0/05 درصد در آلومینیم جامد حل شود و در 1/7 درصد و در درجه حرارت  $655^{\circ}\text{C}$  با آلومینیم تشکیل اوتکتیک دهد. چنانچه آهن از میزان حلالیت تجاوز نماید وجود ترکیب  $\text{FeAl}_3$  که قابلیت حل مقدار کمی منگنز و مس را نیز دارد، حتمی است. آلومینیم می تواند آهن را از هر منبعی (مانند ایزار و وسایل ذوب و مخلوط کننده ها) و یا تجزیه اکسید آهن جذب نماید.

$\text{Al}_3\text{Fe}$  دارای سختی حدود 550 برینل می باشد و از این رو حضور این عنصر در آلیاژ آلومینیم، شکنندگی آن را شدیداً افزایش می دهد.

حضور منگنز و سیلیسیم به صورت ناخالصی همراه با آهن باعث ترکیب بسیار سخت و شکننده  $\text{Al}(\text{Mn},\text{Fe})\text{Si}$  می گردد که قابلیت تغییر فرم آلیاژ را کاهش می دهد.

**ب) ترکیبات سیلیسیم:** سیلیسیم به تنهایی هیچ گونه ترکیبی با آلومینی ندارد. میزان حلالیت آن در حالت جامد با تقلیل درجه حرارت پایین آمده، به طوریکه در درجه حرارت محیط به صفر می رسد. این عنصر به صورت ناخالصی در شمش های اولیه وجود دارد و همچنین می تواند بوسیله فعل و انفعالات مواد قالب و یا بوته به داخل مذاب جذب شود. چنانچه آلیاژ مذاب حاوی منیزیم باشد، ترکیب  $\text{Mg}_2\text{Si}$  در مذاب و جامد آلومینیم یافت می شود.

**پ) ترکیبات تیتانی:** تیتانیم که حلالیت بسیار کمی در آلومینیم مذاب دارد به سهولت ترکیبات  $\text{Al}_3\text{Ti}$  را که سختی حدود 770 برینل دارد، تولید می کند. ترکیبات تیتانیم اغلب برای ریز کردن دانه ها به صورت های  $\text{TiC}$ ،  $\text{TiB}_2$  و با ترکیبات  $\text{K}_2\text{TiF}_6$  به کار می روند.

سایر ترکیبات که در ذوب آلومینیم صنعتی حاصل می شوند عبارت از  $Al_2Cu$  ،  $Al_3Mg_2$  و ترکیبات سه گانه آنها می باشند که به سهولت قابل تشکیل نیستند . در جدول 1-2 که توسط آندرس و وان لانگ تهیه شده و در این جا مورد استفاده قرار گرفته اند حد حلالیت و فاز دوم بسیاری از عناصر در آلومینیم درج گردیده است .

## ترکیبات غیر فلزی

ترکیبات غیر فلزی می تواند به 4 دسته اصلی زیر طبقه بندی گردد :

اکسیدها ، نیتروورها ، کربورها و کلرورها

**الف - اکسیدها :** آلومینیم با تمام مواد و عناصر اکسید کننده ترکیب می گردد و نتیجه حاصل اکسید آلومینیم است که همه محققین بر این اتفاق نظر دارند که اکسید آلومینیم در آلومینیم مذاب و جامد اصولاً قابلیت انحلال ندارد . اغلب عناصر و اکسیدها مانند  $TiO_2$  ,  $FeO$  ,  $CuO$  ,  $SiO_2$  می توانند به عنوان اکسید کننده برای آلومینیم منظور شوند و فقط بعضی عناصر مانند منیزیم تا  $1600^\circ C$  ، کلسیم ، برلیم و لیتیم میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن دارند و از این رو اغلب اکسیدها در آلومینیم شامل  $Al_2O_3$  و  $MgO$  و یا مخلوط آنها می باشد .

آلومینیم و اکسیژن می توانند یک رشته ترکیبات مانند  $Al_2O$  ,  $AlO$  و  $Al_2O_3$  ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$ ) که از نظر شکل ساختمانی و کریستالی متفاوتند ، تولید نمایند ولی مهمترین این ترکیبات ،  $\gamma$   $Al_2O_3$  به عنوان اکسید فیلم که عنصر اصلی تشکیل دهنده سرباره آلومینیم می باشد و دیگر  $\alpha$   $Al_2O_3$  است که تحت نام کوراندم بعد از الماس سخت ترین مواد است . اکسید فیلم آلومینیم قادر به حفاظت بقیه مذاب از اکسید شدن می باشد . زیرا این اکسید برخلاف اکسیدهای آهن ، مس و بسیاری عناصر دیگر متخلخل نیست و فاکتور تخلخل آن از یک بزرگتر است . ( براساس رابطه ( Bedworth & Pilling ) . فاکتور تخلخل عبارتست از :

$$R = \frac{W_o d_m}{W_m d_o}$$

که در آن  $W_o$  و  $d_o$  به ترتیب وزن مخصوص اکسید  $W_m$  و  $d_m$  وزن اتمی ( ملکولی ) و وزن مخصوص مذاب می باشد . از طرف دیگر در درجه حرارت مذاب ، زمان نگاهداری مذاب و رشد انرژی تیک اکسید ، تأثیر

شدیدتری در مقدار اکسید دارند. اکسید فیلم در آلومینیم تا درجه حرارت 700 بی شکل می باشد ولی در درجه حرارت بالاتر از 700 یک نوع ساختمان  $\gamma$   $Al_2O_3$  ناپایدار تشکیل می دهد.

مطالعات تجربی Kissling ثابت نموده است که در سرباره آلومینیم مذاب علاوه بر مقدار زیادی اکسید فیلم، مقداری نیتروژن، کربور و حتی سولفور آلومینیم وجود دارد.

$\alpha$   $Al_2O_3$  یا کوراندوم معمولاً بایستی از تجزیه سایر اکسیدها حاصل گردد ولی چنانچه  $\gamma$   $Al_2O_3$  در درجه حرارتهای بیش از  $800^\circ C$  نگاهداری شود، انتقال از حالت  $\gamma$  به  $\alpha$  انجام می پذیرد. همچنین در تماس بین اکسید فیلم و مذاب آلومینیم تشکیل کوراندوم در درجه حرارت پایین نیز امکان پذیر می باشد. بطور کلی می توان چنین استنباط نمود که ابتدا اکسید فیلم  $\gamma$   $Al_2O_3$  تشکیل می شود و پس از مدتی به  $\alpha$   $Al_2O_3$  تبدیل می گردد.

وزن مخصوص کوراندوم برابر  $4 \text{ gr/cm}^3$  می باشد، در حالی که وزن مخصوص اکسید فیلم و سرباره های آلومینیم حدود  $2/7$  تا  $3/9 \text{ gr/cm}^3$  گزارش شده است. از این رو با توجه به قانون استوک عمل رسوب و یا ورود اکسیدها به سرباره با اشکالات زیادی توأم است. بدیهی است در این موارد نمی توان وزن مخصوص فشرده اکسیدها را ملاک قرار داد زیرا وزن مخصوص ظاهری اکسیدها همواره کمتر می باشد. اکسید منیزیم ( $MgO$ )، که در اثر ترکیب با اکسیژن و یا مواد اکسید آن حاصل می گردد نیز از جمله اکسیدهای موجود در آلومینیم مذاب است.

$MgO$  در سطح مذاب باعث ایجاد رنگ تقریباً طلایی و یا سیاه خواهد شد و در بعضی موارد وجود پودر سفید در سطح مذاب دال بر وجود اکسید منیزیم است. این اکسید در درجه حرارت  $2720^\circ C$  تجزیه می گردد ولی هنگامی که مقدار آن زیاد باشد با اکسید آلومینیم تولید اکسید مضاعف (اسپینل) ( $MgO, Al_2O_3$ ) می نماید که از کوراندوم سبک تر و نقطه ذوب آن  $2135^\circ C$  می باشد.

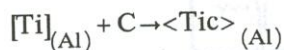
سایر ناخالصی ها (عناصر آلیاژی) مانند مس، آهن، روی، منگنز تأثیر شدیدی در اکسیداسیون آلومینیم ندارند و از این رو می توان نتیجه گرفت که اکسیدهای موجود در آلومینیم مذاب، آلومین، منیزیت و اسپینل می باشند و سایر اکسیدها در صورت حضور در مذاب از طرق مکانیکی وارد شده اند.

**ب) نیتروورها:** نیتروورها مانند  $Si_3N_4$ ,  $BN$ ,  $AlN$  بر اثر روابط شیمیایی امکان تشکیل دارند. ولی در آلومینیم مذاب فقط نیتروور آلومینیم  $AlN$  و نیتروور منیزیم  $Mg_3N_2$  (درمورد آلیاژهای آلومینیم، منیزیم) تشکیل می شوند.

حلالیت ازت در آلومینیم ناچیز می باشد و بنابراین وجود مقداری ازت باعث تشکیل نیتروور آلومینیم خواهد شد. وزن مخصوص  $AlN$  حدوداً  $3/05 \text{ gr/cm}^3$  و این مورد برای  $Mg_3N_2$  به 3 گرم بر سانتیمتر مکعب می رسد. نکته قابل توجه این است که در شرایط ذوب معمولی وجود نیتروورها در اثر فعل و انفعالات شیمیایی به ندرت اتفاق می افتد و این بیشتر در درجه حرارت های بیش از  $800^\circ C$  پدید می آیند. از طرف دیگر وجود اکسیژن و سایر عناصر که میل ترکیبی شدیدی با آلومینیم و عناصر آلیاژی آن دارند، وجود نیتروور آلومینیم را تقریباً غیر ممکن می سازد. به طوریکه این عنصر برای گاززدایی هیدروژن به عنوان گاز بی اثر بکار می رود (به استثنای آلیاژهای آلومینیم، منیزیم).

**پ) کربورها:** حلالیت کربورها در آلومینیم بسیار ناچیز و در  $1000^\circ C$  کمتر از 0/01 درصد گزارش شده است و به دلیل میل ترکیبی بین کربن و آلومینیم، وجود هر مقدار کربن باعث تشکیل  $Al_4C_3$  در درجه حرارت های ذوب معمولی می گردد. این ترکیب نتیجه ای از فعل و انفعالات مواد سوخت و بوته های گرافیتی با آلومینیم مذاب می باشد.

مهمترین مواد کربوری که در مذاب (جامد) آلومینیم گزارش گردیده است  $Al_4C_3$ ,  $SiC$  و  $TiC$  می باشند. کربور آلومینیم در حضور اکسیژن ناپایدار می باشد و همچنین به دلیل وزن مخصوص کم آن ( $2/3 \text{ gr/cm}^3$ ) معمولاً کربور در سطح آلومینیم مذاب تشکیل می شود. چنانچه کربن به حالت اتمی در مذاب باقی بماند در صورت وجود تیتانیم به  $TiC$  تبدیل می شود.



TiC در درجه حرارت  $3250^{\circ}\text{C}$  ذوب می گردد و می تواند به عنوان هسته های غیر یکنواخت در ریز کردن شبکه مؤثر باشد. تأثیر درجه حرارت در شدت کلی تمام فعل و انفعالات فوق براساس روابط ترمودینامیکی کاملاً اثبات شده است. همچنین زمان نگاهداری مذاب در درجه حرارت های بالا و نفوذ گازهای مختلف بخصوص هیدروژن به داخل مذاب از عواملی است که مورد آلیاژهای متفاوت به تجربیات و آزمایش های متعدد نیاز دارد که در نمودارهای 2-2 و 2-3 تأثیر زمان نگاهداری و تلاطم سطح مذاب در جذب هیدروژن توسط آلیاژ آلومینیم خالص تجارتي و آلیاژ Al-ZnMgCu نشان داده شده است.

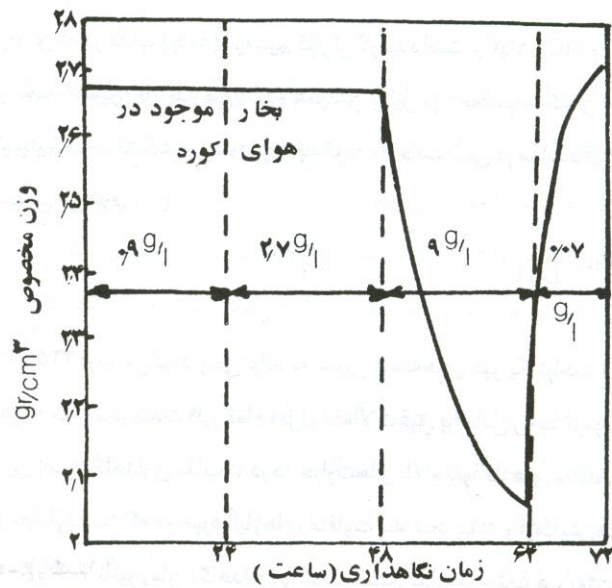
**(ت) کلرورها:** انواع کلرورها مانند  $\text{AlCl}_3$ ،  $\text{ZnCl}_2$  و  $\text{MgCl}_2$  در آلومینیم امکان تشکیل دارند که معمولاً از منابع دگازرها و فلاکس های حاوی کلر حاصل می شوند.

وزن مخصوص این عناصر حدود  $2/9 \text{ gr/cm}^3$  می باشد و به دلیل درجه حرارت تبخیر پایین حدود ( $200^{\circ}\text{C}$ ) معمولاً در سطح مذاب مجتمع می گردند بطوریکه از این مواد اغلب به عنوان فلاکس و گاززدا استفاده می شود.

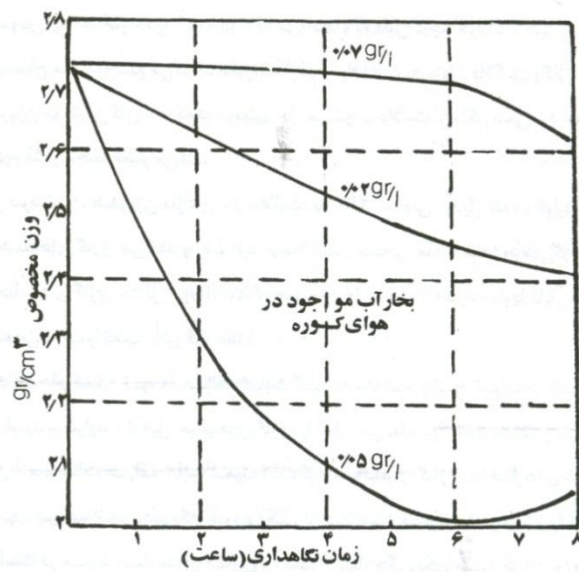
**(ج) گازها:** هیدروژن مهمترین گازیست که در آلومینیم حل می شود و حلالیت آن، لگاریتمی با درجه حرارت و مستقیم، با ریشه دوم فشار محیط تغییر می کند.

در جریان سرد شدن، هیدروژن مازاد بر حد حلالیت، به حالت ملکولی تبدیل شده و تولید حباب می نماید که تشکیل هسته های گازی می دهد و رشد آنها توسط تنش سطحی مذاب محدود می گردد، بطوریکه برای تشکیل حباب های گازی حداقل  $0/2 \text{ cc} / 100\text{gr}$  هیدروژن لازم است تا اندازه حباب ها قابل مطالعه گردد و بتواند وزن مخصوص مذاب را تحت تأثیر قرار دهد.

وجود ترکیبات غیر فلزی (آخال ها) در مذاب آلومینیم شرایط تشکیل حباب های گازی را آسان می نماید. زیرا حباب های گازی و آخال های غیر فلزی تا حدود زیادی بهم پیوسته اند، بطوریکه خروج یکی از این مواد خروج عنصر دیگر را نیز به دنبال دارد. بدیهی است درمورد حباب های گازی و رشد آنها، چگونگی سرد شدن و روش انجماد تأثیر شدیدتری دارند.



نمودار 2-2 جذب گاز (تقلیل وزن مخصوص) در هوای کوره (مذاب بدون تلاطم) آلومینیم خالص تجارتمی



نمودار 2-3 تأثیر زمان نگه داری در جذب گاز (مذاب متلاطم)

## تأثیر ترکیبات و مواد ناخواسته در خواص آلومینیم

### تأثیر در خواص ریخته گری

ترکیبات غیر فلزی و گازها معمولاً به عنوان هسته های ضعف در ساختمان ماکروسکوپی آلیاژ و خواص مختلف آن عمل می کنند .

### سیالیت

سیالیت آلیاژهای آلومینیم در حضور ترکیبات غیر فلزی و ترکیبات فلزی شدیداً کاهش می یابد و این بیشتر به دلیل افزایش تنش سطحی مذاب آلومینیم در قبال این عناصر است . تعیین کاهش سیالیت توسط مواد اکسیدی و مواد ترکیبی در آزمایش های مختلف به ثبوت رسیده است ولی از آنجایی که سیالیت بیشتر تحت تأثیر تغییرات درجه حرارت می باشد ، نمی توان انتظار داشت که سیالیت عناصر در قبال وجود ترکیبات مختلف شدیداً کاهش یابد .

### تغذیه

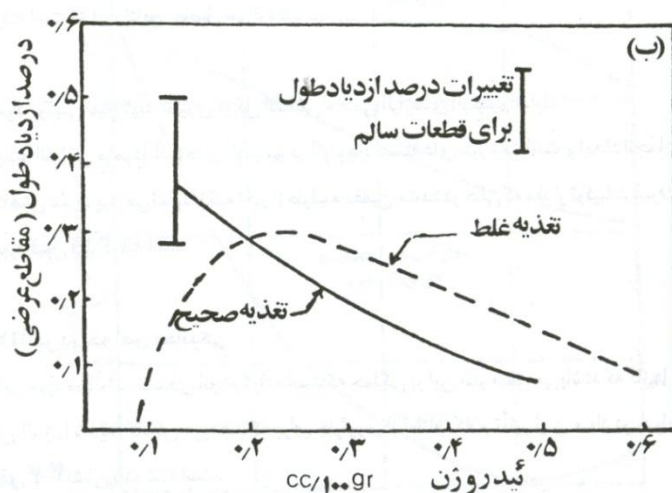
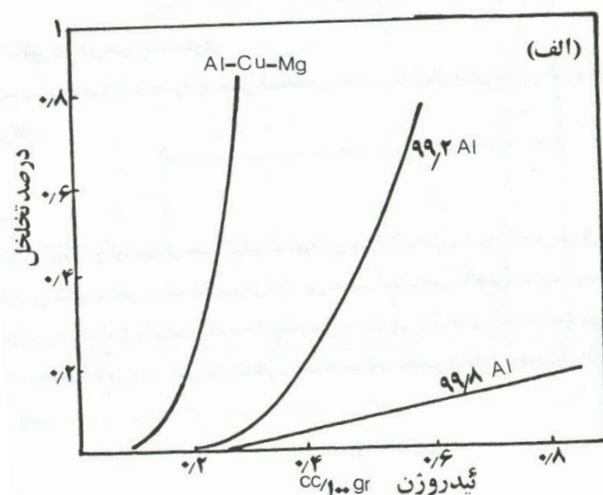
در مورد عمل تغذیه و درصد افزایش ( تقلیل ) انقباض متمرکز آلومینیم تحت تأثیر مواد ترکیبی ، مطالعات متعددی انجام گرفته است که این نتایج حاصل می گردد :

الف ) مواد ترکیبی هیچ گونه تأثیری در کل انقباض حجمی آلیاژهای آلومینیم ندارد .

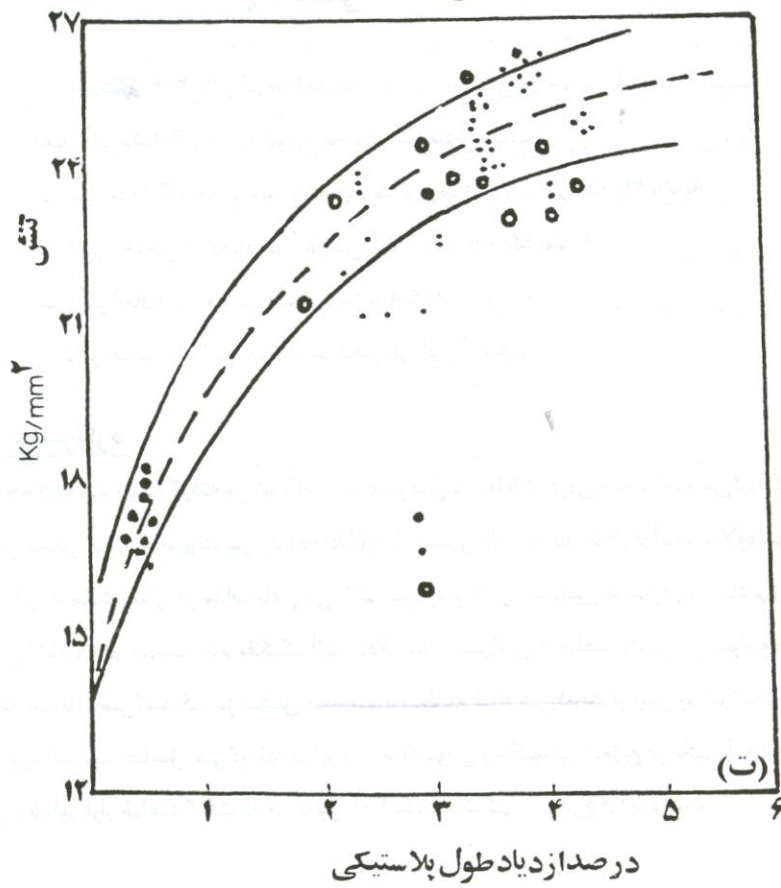
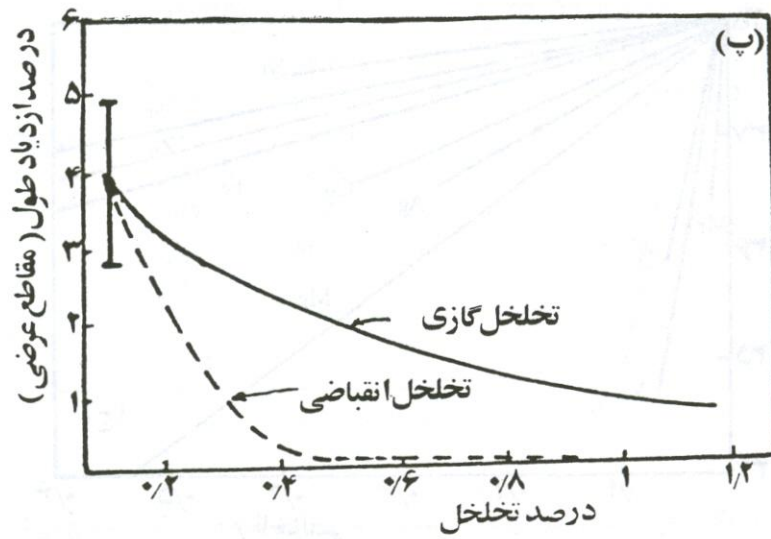
ب ) درصد انقباض متمرکز آلیاژهای آلومینیم در اثر وجود هسته های غیر یکنواخت و ایجاد انجماد تقریباً خمیری ، کاهش شدید پیدا می نماید . نکته اخیر از طرف محققین متعدد در حالی که مقدار ترکیبات غیر فلزی متناوبه باشد ، مورد قبول قرار گرفته است .

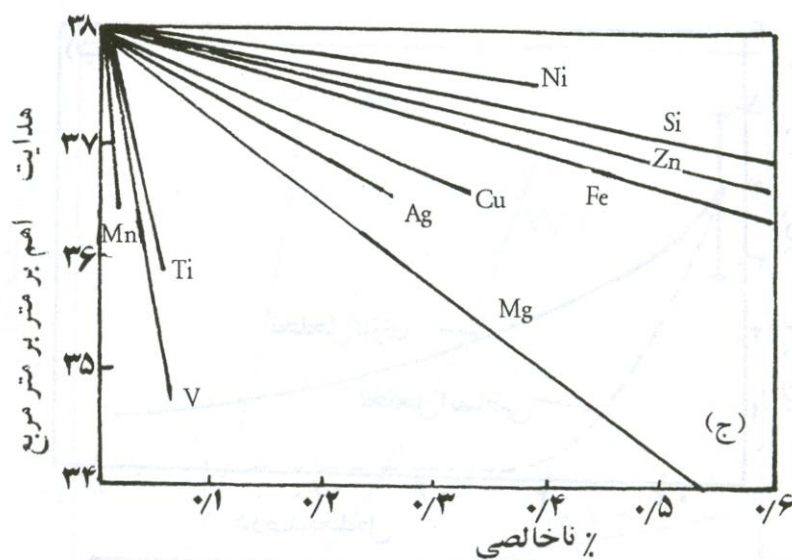
## تأثیر در خواص مکانیکی

در این مورد مطالعات متعددی انجام گرفته است که جملگی بر این نظر متفق می باشند که گازها و آخال ها خواص مکانیکی آلیاژ را شدیداً کاهش می دهند که برای جلوگیری از اطناب کلام تأثیر این مواد در خواص مکانیکی در نمودارهای 2-4 نشان داده شده است .









نمودارهای 2-4: تأثیر گازها و آخال ها و عناصر ناخالصی در خواص آلیاژهای آلومینیم

الف: تأثیر مقدار گاز جذب شده در تخلخل آلیاژهای مختلف

ب: تأثیر مقدار گاز جذب شده در ازدیاد طول عرضی آلیاژ نوردی Al- Zn- Mg- Cu

پ: تأثیر تخلخل در ازدیاد طول عرضی آلیاژ نوردی Al- Zn-Mg- Cu

ت: تأثیر آخال ها در منحنی کششی آلیاژ Al- Si- Cu

ج: تأثیر عناصر ناخالصی در هدایت الکتریکی آلیاژ آلومینیم

## سرباره

از آنچه گفته شد نتیجه گرفته می شود که بسیاری از فعل و انفعالات ، درون مذاب انجام می گیرد که بر حسب وزن مخصوص ممکن است به صورت سرباره (Dross) و یا ته نشین (Sludge) ( لجن ) در آیند . علاوه بر آن بسیاری از ترکیبات نیز به حالت شناور در مذاب باقی می مانند . سرباره و یا مواد ته نشین همواره با مقادیر زیادی آلومینیم همراه می باشند که در صورت عدم تفکیک آنها اتلاف مذاب بسیار زیاد خواهد

بود. در این مواقع از فلاکس ها و دگازرها استفاده می کنند که در بخش بعد مورد مطالعه قرار می گیرند. از این رو ترکیبات مختلف که در جریان ذوب آلومینیم حاصل می گردند، بنا بر وزن مخصوص و چگونگی توزیع در یکی از سه دسته سرباره، ته نشین و شناور قرار خواهند گرفت که در جدول 2-2 مشخصات کلی آنها درج گردیده است.

مواد سرباره		مواد ته نشین		مواد شناور	
ترکیب	وزن مخصوص	ترکیب	وزن مخصوص	ترکیب	وزن مخصوص
(Al)	۲/۳	CuO	۶/۴	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲/۸	Cu <sub>2</sub> O	۶	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO	۳/۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	۲/۴	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶	TiC	
MgO	۲/۹	Fe <sub>3</sub> Al		TiB <sub>2</sub>	
(Mg)	۱/۵	Al <sub>2</sub> Cu		Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	۳/۶
SiO <sub>2</sub>	۲/۲۰	Mn <sub>3</sub> Al		H <sub>2</sub>	
کلرورها	۲/۸			Mg <sub>2</sub> Si	
کربورها	۳			نیتروورها	
CaO	۲/۱۵			مواد نسوز	

جدول 2-2 مواد مختلف ترکیبی در طبقات ذوب آلومینیم

در خاتمه یک بار دیگر منابع و منشاء وجود ترکیبات مختلف در مذاب آلومینیم بطور خلاصه تشریح می گردند:

- 1- فعل و انفعالات با هوا، باعث تشکیل انواع اکسیدها، حباب های گازی و نیتروورها می گردد.
- 2- فعل و انفعالات با سوخت، باعث تشکیل انواع اکسیدها، کربورها و حباب های گازی می شود.
- 3- فعل و انفعالات با مواد نسوز، اکسیدها و ناخالصی های فلزی را شامل می گردد.
- 4- فعل و انفعالات با وسایل ذوب، انواع اکسیدها و ترکیبات فلزی را شامل می گردد.
- 5- فعل و انفعالات با مواد قالب، جذب گاز و اکسیداسیون را تشدید می نماید.
- 6- داخل شدن مکانیکی عناصر و وسایل ذوب و قالب گیری در اثر عدم دقت.

### روشهای جلوگیری از فعل و انفعالات با مذاب

برای جلوگیری از این فعل و انفعالات باید نکاتی را رعایت کرد که عبارتند از:

- 1- جلوگیری از تلاطم مذاب
- 2- استفاده از فلاکسهای پوششی
- 3- پیش گرم کردن و تمیز کردن مواد شارژ
- 4- پیش گرم کردن بوته و نسوز
- 5- استفاده از شعله نسبتاً اکسیدان در کوره های با سوخت های فسیلی
- 6- استفاده از کوره های الکتریکی
- 7- استفاده از نسوز های مناسب برای هر آلیاژ

## بخش سوم

# عملیات کیفی مذاب

در ریخته گری آلیاژهای آلومینیم بسیاری از عناصر بصورت های ناخالصی فلزی، ترکیبات بین فلزی، گازها و آخال ها از منابع متنوع و متعدد به مذاب افزوده می گردند که در صورت عدم کنترل دقیق بر آنها و یا انجام عملیات خاص جهت حذف این مواد و یا تقلیل خواص مضر آنان، آلیاژ ریخته شده از کیفیت مطلوب برخوردار نخواهد بود. وجود مواد اکسیدی، حباب های گازی و درشت بودن شبکه از جمله مسائلی است که در ذوب آلومینیم همواره مورد توجه و بررسی قرار می گیرد. از این رو عملیات کیفی در مذاب آلومینیم به دسته های مختلف تقسیم می گردد که به ترتیب مورد بررسی قرار می گیرند.

### کنترل ترکیب

آلیاژهای متعدد و متفاوت آلومینیم هر یک به نوعی دارای ناخالصی های طبیعی هستند که در شمش های اولیه آنان موجود می باشد و علاوه بر آن شارژ نامناسب و عدم دقت در شارژ باعث بروز انواع ناخالصی ها در فلز مذاب می گردد. عناصر ناخالصی اغلب از حد حلالیت متجاوز هستند و به صورت فازهای فلزی و ترکیبات فلزی در قطعه ریخته شده ظاهر می گردند.

ترکیبات بین فلزی همچنین تحت تأثیر پدیده جدایش در مذاب حاصل می شوند که در عمل برای جلوگیری از این پدیده تنظیم شرایط ریخته گری و انجماد الزامی می گردد. بعضی از عناصر متشکله آلیاژ مانند منیزیم، برلیم، سدیم و کلسیم در اثر حرارت های محیط ذوب و وجود هوا اکسیده می گردند و درصد اتلاف آنان در مذاب افزایش می یابد، بخصوص اگر زمان نگاهداری مذاب در درجه حرارت های بالا زیاد باشد. از این رو ترکیب شیمیایی آلیاژ تغییرات عمده خواهد داشت. از طرف دیگر عناصری مانند مس، آهن، کرم، نیکل، منگنز

تمایل چندانی به اکسید شدن ندارند ولی پدیده ی جدایش در حضور این عناصر با سهولت بیشتری انجام می گیرد ، که برای جلوگیری از آن بهم زدن مذاب در طول ذوب و در زمان ریختن الزامی است ( بدیهی است بهم زدن مذاب بایستی به گونه ای باشد تا اکسید شدن مذاب را تشدید نکند . )

در بسیاری موارد برای جلوگیری از اکسیداسون مواد شارژ ، آنها را با فلاکس (Coveral Flux) پوشش می دهند . در حالت کلی بایستی ترکیب دقیق مواد شارژ و درصد اتلاف کوره نسبت به هر یک از عناصر آلیاژی که به درجه حرارت آن نیز بستگی دارد ، کاملاً از طریق تجزیه و آزمایش روشن گردد . در جدول در جدول 8 درصد تقریبی اتلافات عناصر مختلف بر حسب نوع شارژ و کوره مورد استفاده درج گردیده است .

عنصر	شمش‌های اولیه			برگشتی‌ها و قراضه‌ها		
	کوره‌الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره بوته ای	کوره‌الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره بوته‌ای
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

جدول 1-3 درصد اتلافات عناصر مختلف در تحت شرایط شارژ و نوع کوره

از جدول 1-3 نتیجه می گردد که علاوه بر نوع کوره ، اندازه قطعات و همچنین چگونگی آلیاژ آن در میزان اتلافات مؤثر می باشد

آهن یکی از عناصریست که به سهولت از وسایل ذوب به آلومینیم نفوذ می کند و به همراه منگنز و کرم در صورت وجود ترکیبات بین فلزی بسیار سخت تولید می کند و همچنین همراه با مقادیر زیادی آلومینیم در ته بوته به صورت ته نشین ( لجن ) رسوب می کند . برای جلوگیری از این امر بایستی توجه داشت که همواره رابطه زیر برقرار باشد :

$$\%Fe + 3(\%Cr) + 2(\%Mn) \leq 1.9\%$$

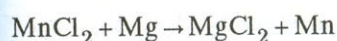
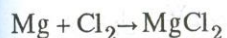
علاوه بر آن ، آهن و سیلیسیم به صورت  $(Al-FeSi)\alpha$  و یا  $\beta$  باعث افزایش مقدار حجمی و انقباض پراکنده در سطح قطعه می گردند .

برای جلوگیری از تمام مراحل ترکیبی ، بایستی آلومینیم قبل از ریختن از نظر ترکیب شیمیایی کنترل شود و چنانچه درصد یکی از عناصر زیادتر از اندازه متعارف باشد با افزودن آلومینیم خالص و یا آمیزان های مخصوص ترکیب آن را موازنه نمود . در آزمایشات کنترل ترکیبی معمولاً مذاب را در یک قالب فلزی ( کتابی ) ریخته و از قسمت ها مختلف آن نمونه برداری می کنند و همچنین آزمایشات متالوگرافی نیز می تواند در این امر از اهمیت خاصی برخوردار باشد . حذف ناخالصی های فلزی بخصوص درمورد آلیاژهای ریخته گری و ذوب قراضه ها حائز اهمیت می باشد . عمده ترین ناخالصی های آلیاژهای آلومینیم ، منیزیم ، آهن ، سیلیسیم ، مس ، روی ، منگنز ، کروم ، سرب ، تیتانیم ، زیرکیم ، قلع ، سدیم و کلسیم می باشند که در عملیات ذوب برخی از آنها به کمک پدیده های شیمیایی و برخی به صورت عملیات فیزیکی حذف می شوند یا تقلیل می یابند .

انجام عملیات شیمیایی بر مبنای حرارت تشکیل اکسیدها ، کلورها ، فلئورها ، سولفورها و نیتروها قرار دارد که در جدول 2-3 درج گردیده است مشخص می گردد که ترکیب شیمیایی بعضی از عناصر سریعتر از ترکیب آلومینیم تشکیل می شوند و خروج و تخلیص آلیاژ را امکان پذیر می سازد . منیزیم به دلیل سرعت اکسیداسیون ، بخصوص در درجه حرارت ذوب ، با افزایش زوان نگاهداری به میزان 1٪ و یا بیشتر از مذاب حذف می گردد . ولی افزایش درجه حرارت و زمان نگاهداری آن در اکسیداسون آلومینیم به شرحی که گفته شد نیز مؤثر می باشد و به همین دلیل منیزیم زدایی که قبلاً در درجه حرارت های 800 تا 900°C انجام می گردید ، اهمیت

خود را از دست داده است و با مقایسه گرمای تشکیل کلرور منیزیم نسبت به آلومینیم و همچنین کلرورهای کلسیم و سدیم حذف عناصر مذکور با افزایش گاز کلر به مذاب با مقیاس بسیار وسیعی انجام می گیرد .

افزایش گاز کلر که در گاززدایی نیز مؤثر می باشد فقط در مورد کلرورهای سنگین که در مذاب حضور دارند تأثیر نداشته و باعث ورود عناصر دیگر به داخل مذاب خواهد شد .



نمک سدیم نیز می تواند منیزیم را از مذاب خارج سازد و از این رو افزایش کلرور ، کلرور سدیم ، فلوئور آلومینیم برای حذف منیزیم ، سدیم ، کلسیم و سایر موادی که حرارت تشکیل مناسب دارند ، بکار می رود . از طرف دیگر تیتانیم که همواره به مقدار بسیار کمی در آلیاژ وجود دارد بندرت خارج می شود و در موارد خاص مخلوطی از گاز کلر و ازت می تواند تشکیل نیترو تیتانیم داده و آنها را به سرباره انتقال دهد . بر و فلوئور مضاعف بر پتاسیم نیز در این مواقع مؤثر می باشند . سیلیسیم و آهن به هیچ طریق شیمیایی از مذاب آلومینیم جدا نمی شوند و فقط روش الکترولیز سه لایه برای حذف این عناصر مفید تشکیل داده شده است که در انتهای همین مبحث تشریح می شود .



عنصر	اکسیدها		کلرورها		فلوئورها		نیتروها		سولفورها	
	فرمول	حرارت	فرمول	حرارت	فرمول	حرارت	فرمول	حرارت	فرمول	حرارت
Al	$\frac{1}{3}Al_2O_3$	1333	$\frac{1}{3}AlCl_3$	56.2	$\frac{1}{3}AlF_3$	118.6	AIN	76.5	$\frac{1}{3}Al_2S_3$	57.5
B	$\frac{1}{3}B_2O_3$	102.0	$\frac{1}{3}BCl_3$	32.4	$\frac{1}{3}BF_3$	--	BN	60.7	$\frac{1}{3}B_2S_3$	19.0
Be	BeO	143.1	$\frac{1}{2}BeCl_2$	59.0	$\frac{1}{2}BeF_2$	120.6	$\frac{1}{2}Be_3N_2$	67.3	Bes	55.9
Bi	$\frac{1}{3}Bi_2O_3$	46.0	$\frac{1}{3}BiCl_3$	30.2	$\frac{1}{3}BiF_3$	70.6	--	--	$\frac{1}{3}Bi_2S_3$	14.1
Ca	CaO	151.5	$\frac{1}{2}CaCl_2$	95.4	$\frac{1}{2}CaF_2$	145.2	$\frac{3}{2}Ca_3N_2$	52.5	CaS	110.0
Cd	CdO	61.1	$\frac{1}{2}CdCl_2$	46.5	$\frac{1}{2}CdF_2$	83.2	$\frac{1}{2}Cd_3N_2$	-19.3	CdS	34.5
Ce	$\frac{1}{3}Ce_2O_3$	144.9	$\frac{1}{3}CeCl_3$	84.3	$\frac{1}{3}CeF_3$	--	CeN	78.0	CeS	118.0
Cr	$\frac{1}{3}Cr_2O_3$	46.2	$\frac{1}{3}CrCl_3$	43.5	$\frac{1}{3}CrF_3$	88.7	CrN	29.4	CrS	--
Cu	CuO	37.1	$\frac{1}{2}CuCl_2$	24.6	$\frac{1}{2}CuF_2$	64.0	Cu <sub>3</sub> N	-17.8	Cu <sub>2</sub> S	19.6
Fe	FeO	63.2	$\frac{1}{2}FeCl_3$	31.9	$\frac{1}{2}FeF_2$	84.0	Fe <sub>2</sub> N	0.9	FeS	22.8
H	H <sub>2</sub> O	68.3	HCl	22.0	HF	64.8	H <sub>3</sub> N	11.0	H <sub>2</sub> S	4.8
K	K <sub>2</sub> O	86.4	KCl	104.2	KF	134.5	--	--	K <sub>2</sub> S	102.4
Li	Li <sub>2</sub> O	142.5	LiCl	96.9	LiF	146.3	Li <sub>3</sub> N	47.0	Li <sub>2</sub> S	107.4
Mg	MgO	143.7	$\frac{1}{2}MgCl_2$	76.7	$\frac{1}{2}MgF_2$	133.0	$\frac{1}{2}Mg_3N_2$	55.1	MgS	83.0
Mn	MnO	92.0	$\frac{1}{2}MnCl_2$	57.6	$\frac{1}{2}MnF_2$	95.0	Mn <sub>4</sub> N	30.3	MnS	49.0
Mo	$\frac{1}{3}MoO_3$	59.4	$\frac{1}{5}MoCl_5$	18.1	$\frac{1}{6}MoF_6$	62.0	Mo <sub>2</sub> N	16.6	$\frac{1}{3}Mo_2S_3$	31.0
Na	Na <sub>2</sub> O	100.7	NaCl	98.6	NaF	136.5	--	--	Na <sub>2</sub> S	92.4
Ni	NiO	57.5	$\frac{1}{2}NiCl_2$	36.5	$\frac{1}{2}NiF_2$	79.0	Ni <sub>3</sub> N	-0.2	NiS	22.2
Pb	PbO	52.4	$\frac{1}{2}PbCl_2$	42.9	$\frac{1}{2}PbF_2$	79.2	--	--	PbS	22.5
Sb	$\frac{1}{3}Sb_2O_3$	55.7	$\frac{1}{3}SbCl_3$	30.4	$\frac{1}{3}SbF_3$	72.4	--	--	$\frac{1}{3}Sb_2S_3$	13.5
Si	$\frac{1}{3}SiO_2$	108.5	$\frac{1}{4}SiCl_4$	41.6	$\frac{1}{4}SiF_4$	96.0	$\frac{1}{4}Si_3N_4$	44.1	$\frac{1}{3}SiS_2$	24.5
Sn	$\frac{1}{2}SnO_2$	68.4	$\frac{1}{2}SnCl_2$	41.8	--	--	--	--	SnS	25.1
Ti	$\frac{1}{2}TiO_2$	112.8	$\frac{1}{4}TiCl_4$	47.9	$\frac{1}{4}TiF_4$	98.1	TiN	80.4	TiS <sub>2</sub>	--
V	$\frac{1}{3}V_2O_3$	98.0	$\frac{1}{3}VCl_3$	44.6	$\frac{1}{5}VF_5$	70.4	VN	51.9	--	--
Zn	$\frac{1}{2}ZnO$	83.2	$\frac{1}{2}ZnCl_2$	49.7	$\frac{1}{2}ZnF_2$	91.3	$\frac{1}{2}Zn_3N_2$	2.6	ZnS	48.2
Zr	$\frac{1}{2}ZrO_2$	129.8	$\frac{1}{4}ZrCl_4$	58.7	$\frac{1}{2}ZrF_4$	114.2	ZrN	87.3	--	--

جدول 2-3 حرارت تشکیل ترکیب شیمیایی عناصر مختلف

کادمیم ، سرب ، بیسموت و آنتیموان توسط افزایش کلسیم یا سدیم که باعث تشکیل ترکیبات چندگانه فلزی خواهد شد ، خارج می گردند .

خروج روی از مذاب آلومینیم در سیستم تحت فشار تقلیل یافته ، به سهولت انجام می گیرد . زیرا نقطه ذوب روی در فشار 100 میلیمتر جیوه برابر  $554^{\circ}\text{C}$  و آلومینیم برابر  $2080^{\circ}\text{C}$  می باشد و از این رو نگاهداری مذاب آلومینیم در فشار کم خروج را امکان پذیر می سازد .

### روش الکترولیز سه لایه

حمام مذاب در این روش از سه لایه جداگانه تشکیل می شود . لایه تحتانی که مشخصه آندها را دارد از آلیاژ ناخالص تشکیل می شود و حدود 30٪ مس جهت افزایش وزن مخصوص به آن اضافه می گردد .

لایه میانی از فلاکس هایی تشکیل می گردد که دارای نقطه ذوب و وزن مخصوص بیشتری نسبت به آلومینیم خالص می باشند . این فلاکس ها حاوی فلئوئور آلومینیم و سدیم و مقداری کلرور باریم و فلئوئور باریم هستند .

لایه فوقانی از آلومینیم خالص تشکیل می شود و مشخصه کاتدی دارد و برای اتصال جریان از کربن خالص استفاده می کنند و عمل تخلیص را انجام می دهند که حاوی درجه خلوصی حدود 99/99٪ می باشد . این روش به دلیل هزینه زیاد فقط در مورد تولید آلیاژهای بسیار خالص از قراضه ها و برگشتی ها مورد استفاده قرار می گیرد .

### گاززدایی (Degassing)

گازهای محلول در مایع بعد از انجماد به دلیل تنش سطحی مذاب و عدم امکان خروج کامل به صورت حبابهایی با اندازه های مختلف در قطعه ریخته شده باقی می ماند که خواص مکانیکی و وزن مخصوص قطعه را شدیداً کاهش می دهند . در مورد ذوب آلیاژهای آلومینیم ، هیدروژن تنها گاز است که به صورت محلول در مایع و حباب در جامد ظاهر می گردد و از این رو عملیات گاززدایی ( هیدروژن زدایی ) در ذوب آلومینیم و آلیاژهای آن از اهمیت خاص برخوردار است . میزان حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیم به درجه حرارت و فشار خارج (

نسبت به فشار داخل ) بستگی دارد و همین امر پایه و اساس گاززدایی آلومینیم را تشکیل می دهد . لذا کنترل درجه حرارت برای اجتناب از جذب گاز که بایستی حداقل ممکن باشد اولین عاملی است که در جریان ذوب مورد توجه قرار می گیرد . معمولاً درجه حرارت مذاب را  $720^{\circ}\text{C} - 740^{\circ}\text{C}$  اختیار می کنند تا علاوه بر تحدید حلالیت گاز از سیالیت نسبتاً مناسب و ویسکوزیته کم برخوردار باشد.

### ذوب در خلاء ( فشار کم )

ذوب در خلاء به دلیل عدم وجود گازهای محیطی ، علاوه بر تقلیل میزان هیدروژن از شدت اکسیداسیون و امکان وجود سایر ترکیبات غیر فلزی نیز می کاهد . مهمترین اصل در این روش تقلیل فشار خارجی است که در نتیجه حلالیت هیدروژن را به نسبت زیادی تقلیل می دهد . این روش در صنایع امروز در حال توسعه است .

### گاززدایی با گازهای بی اثر

افزودن گازهای بی اثر مانند ازت و آرگون باعث آن می گردد که فشار نسبی داخل مذاب افزایش پیدا کرده و در نتیجه از حلالیت هیدروژن کاسته شود .

آزمایشات رانسلی (Ransley) نشان می دهد که چنانچه گاز آرگون و یا ازت به مقدار  $1\text{ cc}$  بر دقیقه به داخل مذاب رانده شود فشار داخلی راندمان استخراج هیدروژن برابر  $52\%$  است و چنانچه گاز بی اثر برابر دقیقه  $5\text{ cc}$  به داخل مذاب دمیده می شود :

$$52\% \sqrt{\frac{1}{5}} = 23.2\%$$
$$PH_2 = P_i\alpha$$

بایستی توجه داشت که

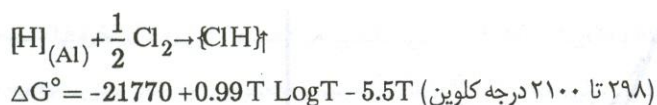
که در آن  $\alpha$  درصد هیدروژن در مخلوط گازی می باشد و از این رو گازهایی بی اثر مانند آرگون ، هلیوم و ازت ( در صورت عدم وجود منیزیم ) می توانند به عنوان گازر بکار روند .

آلومینیم مذاب معمولاً توسط آرگون خشک برای تقلیل فشار خارجی (افزایش فشار داخلی) به نسبت  $\frac{1}{100}$  گاززدایی می شود که در نتیجه مقدار هیدروژن را از 0/34 سانتیمتر مکعب بر 100 گرم به 0/034 تقلیل می دهد و معمولاً این عمل در کوره های بوته ای ثابت توسط کیسول های گاز آرگون (مخلوط گازی) انجام می شود.

ترکیب فلئور مضاعف سدیم سیلیسیم ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) نیز که در درجه حرارت تجزیه می شود و گاز ( $\text{F}_4\text{Si}$ ) را که نسبت به مذاب آلومینیم بی اثر است، تولید می کند نیز با همان نتایج گازهای ازت و آرگون روبروست جز آنکه سدیم حاصل نمی تواند در آلیاژهای منیزیم دار بکار رود.

### گاززدایی با کلر و ترکیبات قابل تبخیر آن

بهترین روش مؤثر در هیدروژن زدایی از آلومینیم مذاب استفاده از کلر می باشد.



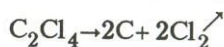
در 1000 K که معمولاً درجه حرارت گاززدایی است، انرژی فعل و انفعال عبارتست از:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \text{Ln}K = \Delta G^\circ + RT \text{Log}n \frac{\{\text{ClH}\}}{P_{\text{H}}^{\frac{1}{2}}} \times P_{\text{Cl}_2}^{\frac{1}{2}}$$

$$RT \text{Log} \frac{P_{\text{ClH}}}{P_{\text{H}}} = -\Delta G^\circ = -(24000) \text{ کالری}$$

که همزمان ترکیبات  $\text{CaCl}_2$ ،  $\text{MnCl}_2$ ،  $\text{AlCl}_3$ ،  $\text{NaCl}_2$ ،  $\text{MgCl}_2$  نیز تشکیل می شوند که هر یک به نوبه خود در درجه حرارت مذاب قابل تبخیر بوده و به صورت گاز بی اثر و یا فعل و انفع با هیدروژن باعث تقلیل مقدار آن در مذاب خواهند شد. نکته قابل توجه در آنست که برای انجام عمل دگازین و خروج ترکیبات غیر فلزی کلرواره از مذاب براساس رابطه استوک، 5 دقیقه اختلاف بین زمان ریختن و عمل گاززدایی الزامیست. بدیهی است در کوره های بزرگ این زمان تا 15 دقیقه نیز افزایش می یابد.

بجای استفاده از گاز کلر، اغلب ترکیبات قابل تبخیر آن و بخصوص هگزاکلرواتان  $\text{C}_2\text{Cl}_6$  استفاده می شود.



مقدار کمی از C به صورت پراکنده در مذاب باقی می ماند که در صورت وجود تیتانیم با یک سری فعل و

انفعالات متعدد به مواد ترکیبی تبدیل می شود.



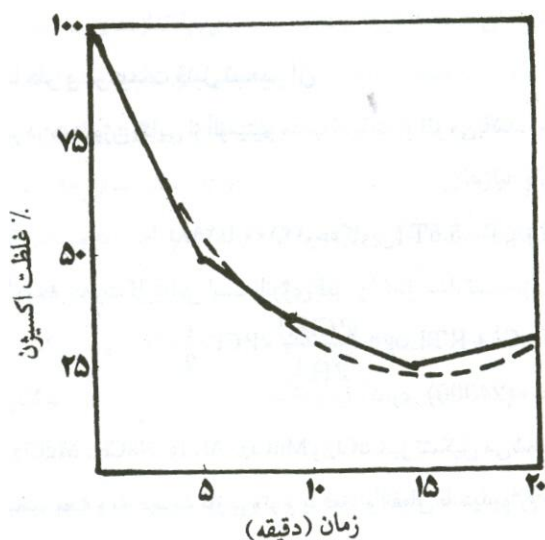
و در همان زمان نیز

TiC حاصل خاصیت ریز کردن شبکه های آلومینیم را دارا می باشد.

در بسیاری موارد تتراکلرور کربن  $CCl_4$  مخلوط با ازت نیز به عنوان مواد گاززدا به کار می رود. همچنین به دلیل مسموم بودن گاز کلر در کارخانجات امروز از مخلوط 3 به 1 گاز ازت و کلر استفاده می کنند.

بایستی توجه داشت که عمل گاززدای نهگامی کامل صورت می گیرد که ویسکوزیته آلیاژ مذاب در اثر حذف اکسیده و سرباره ها به طرق مختلف کاهش یافته باشد.

در نمودار 1-3 تگاززدای و زمان آن توسط کلر در یک نوع آلیاژ آلومینیم، سیلیسیم نشان داده شده است.



نمودار 1-3 تأثیر زمان گاز زدایی در کاهش مقدار هیدروژن

## اکسیژن زدایی ، خارج کردن مواد غیر فلزی « Fluxing »

فلاکس ها موادی هستند که برای افزایش کیفیت مذاب و تقلیل مواد ترکیبی ( غیر فلزی ) بدون تغییر کلی در ترکیب آلیاژ و یا با اندکی تغییر بکار می روند .

چگونگی فعل و انفعال فلاکس و مذاب و چگونگی خروج اکسیدها از آن هنوز مورد تردید و بحث می باشد زیرا پایداری اکسید آلومینیم مانع از آن است که خروج این عنصر از مذاب به سهولت خروج اکسید آهن مس انجام پذیرد .

نظرات مختلف ترکیبی ( شیمیایی ) و مکانیکی هنوز به قوت خود باقیست و مهمتر ز همه نظریه وست (west) می باشد مبنی بر اینکه فلاکس ها در فصل مشترک ترکیبات و مذاب قرار گرفته و به سهولت آنها را از هم جدا می نمایند . فلاکس ها و کاربرد آنان بسیار متنوع می باشد . تقسیم بندی های مختلفی درمورد آنان انجام گرفته است که تقسیم بندی زیر را درمورد آلیاژهای آلومینیم مناسب تشخیص می دهد :

1- احیاء کننده ( فلزات )

2- فلاکس های گازی

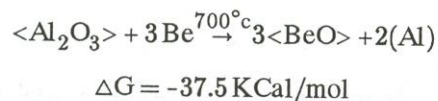
3- فلاکس های جامد محلول و یا نمک ها

قبل از تشریح انواع فلاکس ها توضیح این نکته ضروریست که اغلب ترکیبات فلاکس ها دارای مواد گاززدا نیز می باشد و از این رو فلاکس ها برای منظورهای مختلف و یا گاززدایی و خارج کردن مواد غیر فلزی و حفاظت مذاب ، توأمآ بکار می روند و در صنایع ذوب آلومینیم از اهمیت ویژه برخوردارند .

### احیاء کننده ها

اکسید آلومینیم به سهولت توسط عناصر دیگر احیاء نمی شود و فقط عناصر محدودی مانند کلسیم ، منیزیم ، لیتیم و برلیم قادر به احیاء اکسید آلومینیم می باشند .

ولی اکسیدهای کلسیم و منیزیم به سرعت با اکسید آلومینیم ترکیب شده و اکسیدهای مضاعف  $3CaO$  ,  $Al_2O_3$  ,  $MgO$  ,  $Al_2O_3$  ( اسپینل ) تشکیل می دهند و از این رو برای خروج اکسیدهای آلومینیم اثرات مفیدی ندارند . در مقابل برلیم برای کلیه آلیاژهای آلومینیم و بخصوص آلومینیم ، منیزیم توصیه توصیه شده است .

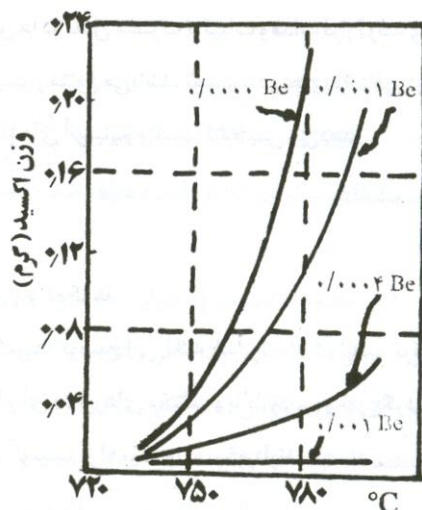


اکسید برلیم علاوه بر قابلیت احیاء اکسیدهای آلومینیم و منیزیم ، می تواند اکسید فیلم غیر متخلخل در سطح مذاب تشکیل دهد و مانع از اکسیده شدن بیشتر مذاب شود .

با توجه به این که فاکتور تخلخل  $BeO$  برابر 4 می باشد در حالی که این فاکتور برای  $Al_2O_3$  نزدیک 2 و برای  $MgO$  ، 0/8 است ، چگونگی حفاظت سطح مذاب توسط اکسید فیلم مشخص می گردد .

برلیم در شمش ها و قطعات آمیزان با 1/5٪ برلیم و یا بصورت ترکیب  $BeF_2$  به مذاب اضافه می گردد . در نمودار 2-3 تأثیر افزایش برلیم و درجه حرارت در تقلیل اکسید آلومینیم نشان داده شده است .

لیتیم نیز که به صورت لیتیم فلزی و یا فلئورولیتیم  $FLi$  به مذاب آلومینیم افزوده می شود ، در تقلیل مقدار اکسیرهای آلومینیم و منیزیم تأثیر بسیار دارد . ولی مشخصات کلی آن از برلیم نامطلوب تر است ، زیرا قادر به تشکیل اکسید غیر متخلخل نیست و حفاظت فلز را مانند برلیم انجام نمی دهد و از طرف دیگر به دلیل نقطه ذوب پایین ممکن است در مذاب حل شود .



نمودار 2-3 تأثیر برلیوم در کاهش اکسیداسیون آلومینیم

در خاتمه این مبحث لازم به توضیح است که عناصری به احیاء و استفاده در صنایع ذوب آلومینیم هستند که مشخصات زیر را داشته باشند:

- 1- نقطه ذوب و تبخیر بالا
- 2- وزن اتمی کم
- 3- وزن مخصوص کم
- 4- قطر اتمی کوچک

و در بین عناصر، برلیوم مشخصات فوق را به طور کامل دارد و این رو استفاده از آن در صنایع آلومینیم بیش از عناصر دیگر به عمل می آید.



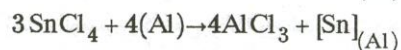
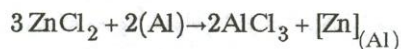
اکسیدها و مواد غیر فلزی شناور در مذاب می توانند با فلاکس های گازی فعال مانند  $Cl_2$ ,  $BCl_3$  و یا ترکیبات قابل تبخیر مانند  $C_2Cl_6$  از مذاب خارج شوند. گر چه عناصر فوق برای گاززدایی بکار می روند ولی در جریان خروج از مذاب قادرند بسیاری از مواد غیر فلزی و آخال ها را به طریق مکانیکی همراه خود به سطح مذاب انتقال دهند. بهر صورت عمل دگازین با کلورورها و ترکیبات کلر تأثیر بسیار زیادی در خارج کردن مواد ناخواسته از آلومینیم مذاب دارند ولی بایستی توجه کرد که استفاده از این مواد اغلب با خوردگی و ایجاد گازهای سمی روبرو می باشد. فلاکس های حاوی کلر باعث اتلاف شدید منیزیم در مذاب می گردد و از این رو در مورد آلیاژهای - منیزیم بیشتر از کلرور منیزیم استفاده می کنند به صورت مایع فلاکسینگ را انجام می دهد.

گازهای بی اثر مانند ازت و آراگون تأثیر کمی در تصفیه مذاب ناخواسته دارند و از این رو عمل فلاکس های کلروره بیشتر در ایجاد ترکیب  $AlCl_3$  می باشد که قادر است در فصل مشترک اکسیدها و مواد مذاب قرار گرفته و همراه خود، آنها را خارج سازد.

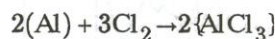
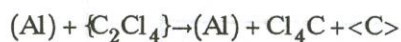
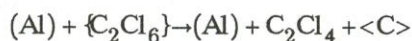
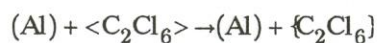
انواع و اقسام کلرورها و فلاکس های قابل تبخیر در ذوب آلومینیم بکار می روند که مهمترین آنها عبارتند از:



استفاده از فلاکس های مختلف بایستی متناسب با ترکیب شیمیایی آلیاژ باشد و در غیر این صورت ناخالصی های فلزی در آلیاژ افزایش می یابند:



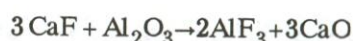
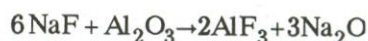
هگزا کلرورتان  $C_2Cl_6$  جامد می باشد ولی در درجه حرارت مذاب تجزیه شده و با آلیاژ ترکیب می شوند در این حالت یکی و یا تما فعل و انفعالات زیر امکان پذیر می باشد.



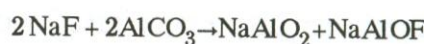
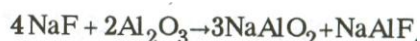
## فلاکس های جامد یا نمک ها

بیشتر فلاکس های حل در مذاب آلومینیم مخلوطی از فلئوئورهای فلیایی و کلرورها می باشند و هیچ کدام از آنها قادر به تجزیه اکسیدها به حالت فلزی نیستند. ولی فلاکس های ساخته شده از کریولیت می توانند مقدار کمی از  $Al_2O_3$  را در خود حل نمایند و از این رو مهمترین عمل فلاکس ها جداکردن فلز و آلیاژ از سرباره اکسیدها و لجن ها می باشند و برای انجام این عمل بایستی تنش های جذبی بین آلومین و فلاکس و آلومینیم و فلاکس بیشتر از قابلیت چسبندگی آلومین و آلومینیم باشد.

کیسلینگ (Kissling) معتقد است که فلاکس ها عموماً فیلم نازکی بین ترکیبات ناخواسته و مذاب پدید می آورند که همین امر باعث جدا شدن و خارج شدن آنها می شود. فلاکس های فلئوئوره در بر خرد با مذاب تولید  $AlF_3$  می نمایند که به دلیل گاز بودن، بسیاری از مواد شناور را با خود خارج می نماید.



همچنین انجام فعل و لفعالات زیر نیز امکان پذیر است:

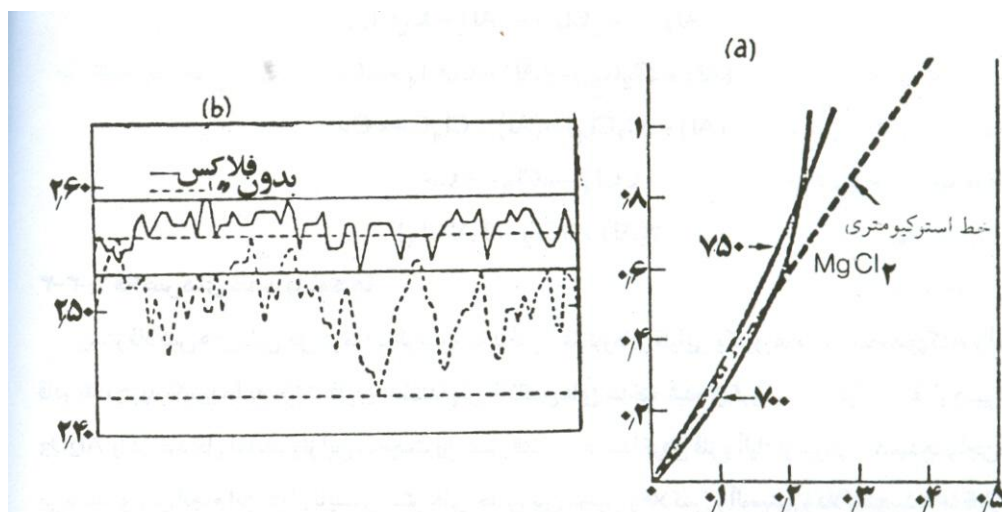


فلاکس های مورد استفاده در آلیاژهای آلومینیم، منیزیم بیشتر بر اساس  $CaCl_2$ ,  $Cl_2Mg$ ,  $ClK$  قرار دارند.

علاوه ب فلاکس های مذکور، فلاکس های دیگری که قادرند با تشکیل فیلم ضخیم در سطح مذاب، از ورود گاز و اکسیژن به داخل آن جلوگیری نمایند به نام فلاکس های پوششی (Coverals) بکار می روند. مشخصه عمومی این فلاکس ها، وزن مخصوص کم، نقطه ذوب پایین و نقطه تبخیر بالاتر از درجه حرارت مذاب می باشد و از این رو به صورت مایع در سطح مذاب قرار می گیرند.

این فلاکس ها با ترکیبات مختلف اغلب بر مبنای ترکیبات  $CaCl_2$ ,  $FNa$ ,  $ClK$ ,  $ClNa$  قرار دارند که معمولاً همراه با فلز جامد شارژ می گردند. در جدول 3-3 ترکیبات فلاکس های مختلف که در ذوب آلیاژهای

آلومینیم بکار می روند ، درج شده است و همچنین تأثیر فلاکس و دگازرها در وزن مخصوص آلیاژ آلومینیم در نمودار 3-3 نشان داده شده است .



a: کاهش منیزیم بعد از استفاده از کلرور آلیاژ b: تأثیر فلاکس  $C_2Cl_6$  در وزن مخصوص آلیاژ آلومینیم

نمودار 3-3

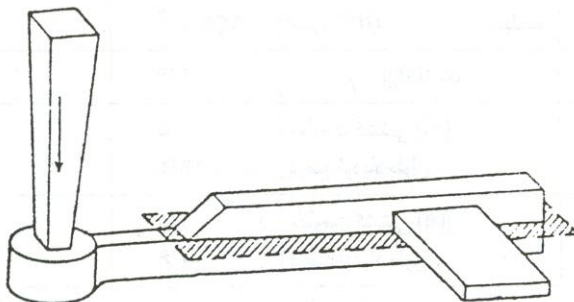
فلاکس	درصد ترکیب							سایر مواد
	NaCl	KCl	Na <sub>3</sub> AlFe	KF	NaF	CaF <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	
۱	۸۵	۱۵						
۲	۷۵	۱۰	۱۵					۱۵ CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>
۳	۶۰	۲۵	۱۵					
۴	۳۵		۵۰					
۵	۴۰	۴۰	۲۰					۱۵ CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>
۶	۳۰	۴۰	--	۱۵				۲۰ Cl <sub>2</sub> Zn
۷	۷۵	۵						۲۰ Na <sub>2</sub> SiF
۸	۴۰	۳۰		۱۰				
۹	۲۵				۵	۵	۶۵	

جدول 3-3 ترکیب فلاکس های مختلف در مصارف عمومی  
فلاکس شماره 9 برای آلیاژهای آلومینیم - منیزیم با بیش از 5٪ منیزیم

### تصفیه : فیلتر کردن

به دلایل اشکالات متالورژیکی ناشی از مصرف فلاکس ها ، سیستم فیلتر کردن در صنایع آلومینیم توسعه روزافزون یافته است و این امر با استفاده از مواد متخلخل در سیستم های راهگامی و یا در مخازن نگهداری مذاب و یا در سیستم های فیلتر مجزا انجام می گیرد که هر یک در نوع خود از مزایا و محدودیت هایی برخوردار است .

استفاده از فیبرهای شیشه ای در قسمت های مختلف راهگام ، ( شکل 1-3 ) از ابتدای ترین سیستم فیلتر کردن مذاب آلومینیم می باشد . همچنین سه روش عمده فیلتر کردن به نام های AlCoa469 , AlCoa181, AlCoa94 هر یک دارای مشخصات متفاوتی است که روش عمده در آنها عبور مذاب از میان مواد نسوز و بی تأثیر می باشد که اغلب این مواد با فلاکس پوشیده شده اند و یا آنکه عمل فیلتر ، فلاکس و دگازین توأم در آنها انجام می گیرد ، ( شکل های 2-3 ) روش دیگری نیز توسط Emly تهیه شده که بیشتر بر مبنای فلاکس و فیلتر توأم قرار دارد ( شکل های 3-3 و 3-4 )



شکل 1-3 فیلتر از فیبر شیشه ای

آزمایشات مؤلف در سیستم های مختلف فیلتر که عموماً بر مبنای تغییرات نسوز درون فیلتر استوار گردید ، بر این نکته تأکید نمودند که مواد مورد استفاده به عنوان فیلتر بایستی دارای شرایطی باشند تا بتوانند از ورود مواد شناور به مذاب جلوگیری کرده و همچنین خود موادی به آن القاء نمایند .

لذا شرایط مواد فیلتر به صورت زیر دسته بندی می گردند :

اندازه مواد فیلتر : اندازه ذرات در راهگاههای عبوری مذاب مؤثر بوده و در صورت کوچک بودن قادر به جلوگیری از ذرات شناور ریزتر نیز می باشند .

شکل مواد : فشردگی مواد گوشه دار به مراتب بیشتر از مواد کروی می باشد و از این رو دهانه عبور مذاب در چنین حالتی کوچکتر می باشد .

سطح خارجی : سطح متخلخل مواد فیلتر همواره جای مناسبی برای رسوب مواد ناخواسته ایجاد می کند و از این رو عمل فیلتر کردن به سهولت انجام می گیرد .

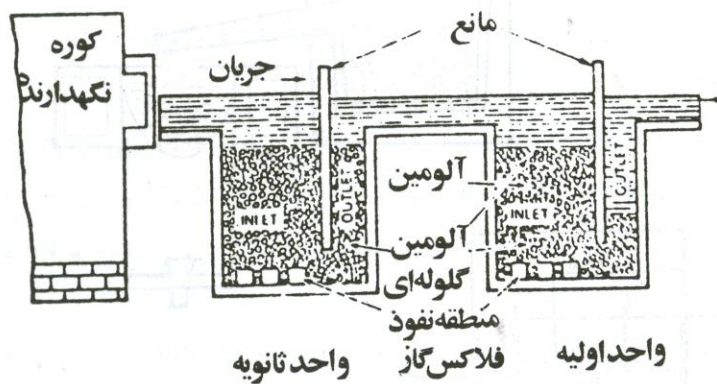
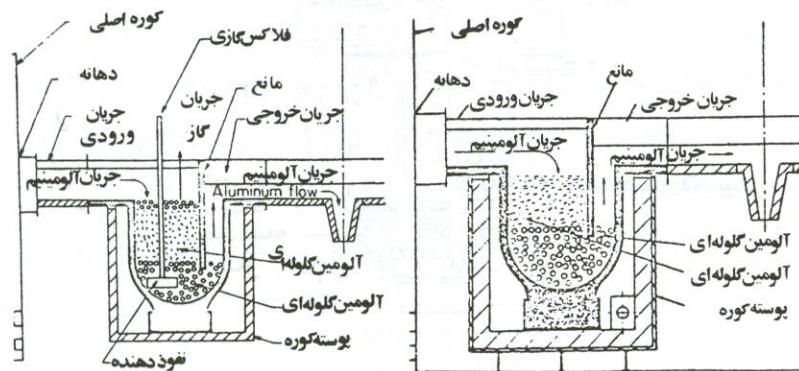
قابلیت چسبندگی مواد توسط مذاب ، از اهم مطالبی است که در مورد فیلتر بایستی رعایت گردد . در خاتمه عمق فیلتر و بی اثر بودن مواد در مقابل فعل و انفعالات مذاب نیز جزء پارامترهای است که دقیقاً مورد توجه قرار می گیرد .

در این مورد اکسید آلومینیم ، بوکسیت و کالبرایت ( $38\% \text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{SiO}_2$ ) بهترین مواد برای فیلتر کردن مواد مذاب تشکیل داده شده است .

تأثیر فیلتر کردن در حذف مواد ناخواسته و افزایش خواص مکانیکی آلیاژ دور آلومین در جدول 3-4 درج گردیده است .

مشخصات در نمونه مورد آزمایش		بدون فیلتر	بعد از فیلتر کردن با کالبرایت
مواد ناخواسته	آب	تعداد کوچکتر از ۵۰ میکرون	۶/۵ ۵۰۰
		تعداد بزرگتر از ۵۰ میکرون	۱/۲ ۳۱۰۰
		تعداد اکسید فیلم	۰/۱۷ ۱۳۵×۱۰۴
	گاز	cc/100gr	۰/۶ ۰/۲۵
خواص مکانیکی قطعه ریخته‌گری	بعد از عملیات حرارتی محلولی	مقاومت کششی (tsi) درصد ازدیاد طول	۵ ۱۸/۲
	عملیات حرارتی کامل	مقاومت کششی (tsi)	۱/۸
		درصد ازدیاد طول	۲۰/۶
			۹/۲۵ ۲۲ ۳/۲ ۲۵

جدول 3-4 تأثیر فیلتر کردن در تقلیل مواد ناخواسته و گازها و افزایش خواص مکانیکی آلیاژ دور آلومین

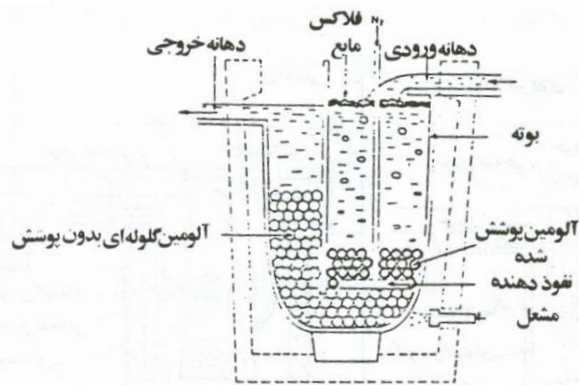


شکل ۴-۳: روش‌های فیلتر کردن  $Al_2O_3$

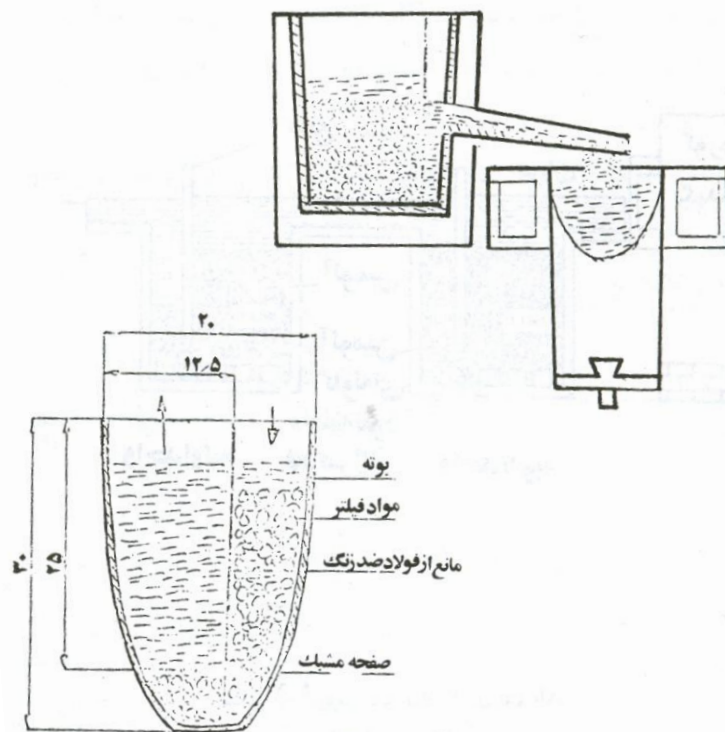
الف) روش ۹۴

ب) روش ۱۸۱

پ) روش ۴۶۹



شکل ۳-۴: فیلتر عملیات در خط



شکل ۴-۴: فیلتر در تولید کم  
۳-۴



## جوانه زاها (Grainrefiners)

جوانه زاها ذرات جامد معلق در مایع می باشند که به عنوان هسته های غیر یکنواخت در انجماد عمل می کنند و با افزایش تعداد هسته ها ، باعث کوچک و یکنواخت شدن شبکه های کریستالی آلیاژ جامد می گردند . مشخصات عمومی این عناصر نقطه ذوب بالا ، شباهت ساختمان کریستالی و نزدیکی ابعاد سلولی به ساختمان جامد آلومینیم و قابلیت چسبندگی (Wettability) از آن جمله می باشند . TiC که در  $3250^{\circ}\text{C}$  ذوب می شوند و دارای ساختمان کریستالی FCC است . ضلع ثابت آن  $a^{\circ}=4/329$  قطر اتمی تیتان و کربن به ترتیب برابر 2/91 و 1/54 آنگسترم می باشد و نسبت به اندازه اتمی TiC به آلومینیم برابر

$$\frac{a(\text{TiC})}{a(\text{Al})} = \frac{4.329}{4.041} = 1.07$$

می باشد که تغییرات ابعادی آن 7٪+ و دقیقاً می توانند به عنوان هسته غی یکنواخت در آلومینیم مذاب حضور داشته باشند .

TiN همچنین با ساختمان CINA و ضلع ثابت 4/23 و نقطه ذوب  $2950^{\circ}\text{C}$  یکی دیگر از ترکیبات برای کوچک کردن دانه های ساختمان آلیاژهای آلومینیم می باشد . ترکیبات تیتان توسط آمیزان های آلومینیم ، تیتانیم و یا توسط فلاکس  $\text{K}_2\text{TiF}_6$  به مذاب افزوده می گردد .

زیرکنیم که همراه فلاکس  $\text{K}_2\text{ZrF}_6$  به مذاب افزوده می گردد ( این فلاکس خاصیت گاززدایی مهمی ندارد ) در آلیاژ مذاب تبدیل به ZrC می گردد که در ساختمان FCC نوع نمک طعام دارای ثابت کریستالی  $a = 4/763$  و نسبت سلولی  $\frac{4.763}{4.041} = 1.17$  می باشد و بالطبع خاصیت ریز کردن کمتری از TiC , TiN دارد .

تلقیح ترکیبات بر ، به صورت  $\text{KBF}_4$  که در درجه حرارت مذاب به سهولت به KF و  $\text{BF}_3$  تجزیه می شود ، در ریز کردن شبکه کریستالی آلومینیم تأثیر فراوان دارد .  $\text{BF}_3$  در اثر ترکیب با آلومینیم تولید  $\text{AlB}_2$  می نماید که دارای ساختمان کریستالی منشوری می باشد و تا حرارت  $1350^{\circ}\text{C}$  پایدار است و بعد از آن به  $\text{AlB}_{12}$  تبدیل می گردد . ثابت کریستالی  $\text{AlB}_2$  ،  $a = 3/01$  و  $c = 3/25$  می باشد و از این رو نسبت سلولی این عنصر و آلومینی

زیاد می باشد ولی در تحت پدیده ای که هنوز مشخص نگردیده است تأثیر B در ریز کردن دانه های کریستالی آلومینیم از TiC نیز بیشتر است .

تیتانیم موجود در آلومینیم و همچنین زیرکنیم نیز به سهولت با B ترکیب شده و ترکیبات  $ZrB_2$  ,  $TiB_2$  در ساختمان های منشوری پدید می آورند که تأثیر آنها در ریز کردن دانه های کریستالی قابل ملاحظه است . در حالت کلی افزایش 0/1 درصد وزنی تیتانیم و 0/01 درصد وزنی بر ، برای ریز کردن و یکنواخت کردن کامل شبکه کافی است . کرم می تواند با بر ترکیب شده و CrB حاصل بخصوص در حضور تیتانیم بشدت مؤثر می باشد .

مهمترین عنصر در ریز کردن دانه ها وجود تیتانیم می باشد و بایستی توجه کرد که چنانچه مقدار تیتانیم از حدود بحرانی 0/2 درصد تجاوز نماید بسیاری از ترکیبات بین فلزی تیتان حاصل می گردد که قابلیت کار مکانیکی آلیاژ را شدیداً کاهش می دهند . از طرف دیگر وجود B بیش از اندازه لزوم ( 0/03 درصد ) باعث افزایش مقدار هیدروژن محلول در مذاب می گردد .

ذوب مجدد آلیاژهای تیتانیم و بر امکان ریز نمودن شبکه را ندارد و ترکیبات مختلف در مذاب بدون تأثیر خواهند بود و همچنین گاززدایی و عملیات فلاکس تأثیر ریزکننده ها را از بین خواهد برد . از این رو بایستی این مواد در انتهای عملیات ذوب افزوده شوند و به دلیل امکان رسوب ترکیبات زمان نگاهداری مذاب بعد از عملیات ریز کردن نبایستی طولانی باشد .

در خاتمه توضیح این نکته ضروریست که ریز کردن دانه ها تحت تأثیر شرایط سرد کردن نیز انجام می گیرد و بخصوص در شمش ریزی های مداوم و نیمه مداوم به دلیل سرعت زیاد انجماد اندازه کریستال ها بسیار کوچک می باشند . از طرف دیگر ریز کردن دانه ها که قابلیت کار مکانیکی آلیاژ را افزایش می دهد بیشتر درمورد آلیاژهای نوردی مورد استفاده قرار می گیرد و آلیاژهای ریخته گری فقط در اثر شرایط خاص مشمول این عملیات می گردند .

سدیم در آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم (سیلیومین ها) نه به عنوان ریز کننده و هسته های غیر یکنواخت ، بلکه به عنوان ظرف کننده (Modifier) بکار می رود . در مقابل این عنصر درمورد آلیاژهای منیزیم دار بسیار مضر می باشد .

سدیم اغلب به صورت فلاکس های کلروره و فلوئوره NaF , ClNa بکار می رود که عملاً ساختمان سوزنی شکل و پراکنده سیلیسیم در آلومینیم را متمرکز و به صورت کروی در می آورد افزودن سدیم به آلیاژ آلومینیم ، سیلیسیم باعث وجود ترکیب سه گانه NaAlSi می گردد که زبان چندانی ندارد و فقط شبکه سیلومین را ظرف می نماید . در حضور منیزیم ترکیب فوق در جهت ایجاد سدیم آزاد که خواص مکانیکی آلیاژ را شدیداً در اثر جذب هیدروژن تقلیل می دهد ، عمل می نماید .



تأثیر ظرف کردن آلیاژهای سیلیسیم دار توسط سدیم در آلیاژهای با 10٪ سیلیسیم در جدول 5-3 نشان داده شده است . در خاتمه این مبحث لازم به تذکر است که کارخانجات سازنده مواد مختلف جهت تصفیه ، اکسیژن زدایی ، گاززدایی و ریز کردن دانه ها مواد ترکیبی مناسب را به صورت قرص های متفتوت تهیه و تحت نامهای تجارتي مختلف به فروش می رسانند .

خواص مکانیکی	آلیاژ ریختگی		آلیاژ جوانه زایی شده با سدیم	
	قالب ماسه ای	قالب فلزی	قالب ماسه ای	قالب فلزی
مقاومت کششی PSI				
حداقل	۶	۹	۱۰/۵	۱۳
میانگین	۷	۱۰	۱۱/۵	۱۴/۵
درصد ازدیاد طول				
حداقل	۱	۲	۵	۷
میانگین	۳	۴	۸	۱۴
مقاومت به ضربه (ایزود)				
حداقل	-	-	۴	۶
میانگین	۰/۵	۱	۵	۷

جدول ۵-۳) تأثیر سدیم در خواص آلیاژ آلومینیم - سیلیسیم

## چهارم

# مشخصات آلیاژهای آلومینیم

آلومینیم به دلیل خواص ضعیف مکانیکی، کمتر در صنعت به صورت خالص مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر این عنصر با عناصر فلزی و غیر فلزی مانند مس، منیزیم، سیلیسیم، روی، منگنز، کرم، قلع و تیتانیوم حدود 200 نوع آلیاژ مختلف نوردی و ریختگی تولید می‌کند که اغلب آنها با انجام یک سری عملیات حرارتی خاص دارای خواص مکانیکی و مهندسی نزدیک به فولاد می‌گردند که چنانچه نسبت به وزن مخصوص آلیاژهای این عنصر سنجیده شود قبول نیروهای مکانیکی و یا انتقال الکتریکی آنان بیش از فولادها و آلیاژهای مس می‌باشد.

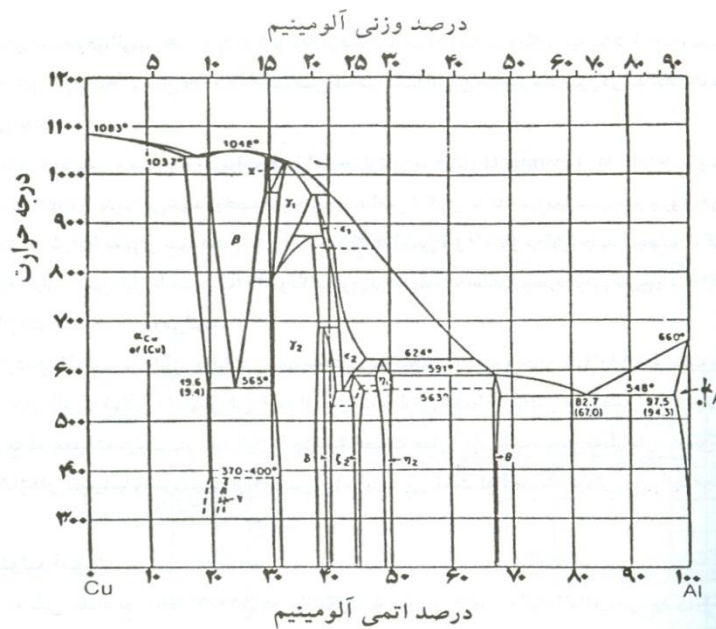
اغلب عناصر قابلیت انحلال کمی در آلومینیم جامد دارند و از این رو وجود فازهای دوم و ترکیبات بین فلزی متعدد در این آلیاژ انجام عملیات حرارتی را مقدور می‌سازد.

همچنین در ساخت آلیاژهای این عنصر به دلیل نقطه ذوب پایین اغلب آمیزان‌های آن مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این مبحث مشخصات ریخته‌گری و خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم و ترکیبات آلیاژسازهای آن مورد مطالعات واقع می‌شوند.

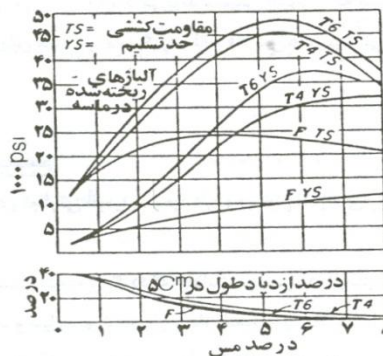
### آلومینیم، مس

تأثیر مس در آلومینیم توسط دیاگرام تعادلی دوگانه مس - آلومینیم در نمودار 1-4 نشان داده شده است. این دیاگرام نشان می‌دهد که حلالیت مس در آلومینیم جامد با افزایش درجه حرارت از 0/5 درصد در حرارت محیط به 5/65٪ در درجه حرارت اوتکتیک  $548^{\circ}\text{C}$  از دیاد پیدا می‌کند.

مس مازاد بر حلالیت در هر درجه حرارت در شبکه  $\theta$  به فرمول تقریبی  $CuAl$  ظاهر می شود که سخت و شکننده است و از این رو افزایش مس در آلومینیم باعث افزای درصد فاز  $\theta$  و در نتیجه افزایش مقاومت و سختی آلیاژ و کاهش انعطاف پذیری آن می گردد ( نمودار 2-4 ) همچنین سیالیت آلیاژ را به مقدار کمی کاهش می دهد . اغلب آلیاژهای آلومینیم و مس کمتر از 10٪ مس دارند و آلیاژ را به مقدار کمی کاهش می دهد . اغلب آلیاژهای آلومینیم و مس کمتر از 10٪ مس دارند و آلیاژهای صنعتی آنها نیز حدود 2 تا 5٪ مس دارند .



شکل ۱- دیاگرام تعادلی آلومینیم - مس



شکل ۲- تأثیر مس در خواص کششی آلومینیم

آلیاژهای معروف دور آلومین نیز حدود  $3/5$  تا  $4/5$  درصد مس دارند ( عناصر دیگر : منیزیم  $1/5 - 1$ ٪ و سیلیسیم  $0/6$  درصد ) مس شدت اکسیداسیون مذاب و همچنین درصد حلالیت هیدروژن را کاهش می دهد .

آلیاژهای آلومینیم و مس به به سهولت عملیات حرارتی محلولی (Solution Treatment) و پیر سختی (age hardening) را پذیرا می شوند . بخصوص چنانچه عناصر دیگری مانند منیزیم ، سیلیسیم و روی در آلیاژ وجود داشته باشند . در شرایط معمولی سرد شدن برای آلیاژهای تا  $5$ ٪ مس فاز  $\theta$  و فاز محلول جامد آلومینیم در کنار هم قرار می گیرند که حرارت دادن آلیاژ تا حدود  $420^{\circ}\text{C}$  و نگاهداری آن تا مدت  $8$  ساعت و سرد کردن سریع باعث ایجاد محلول جامد اشباع شده و حذف فاز  $\theta$  می گردد .

برای ازدیاد مقاومت این آلیاژ ، عملیات رسوب سختی ( پیر سختی ) در درجه حرارت  $180^{\circ}\text{C}$  و به مدت حداکثر تا  $5$  ساعت ، سختی آلیاژ و خواص مکانیکی آن را بعد از عملیات حرارتی محلولی افزایش می دهد .

آلیاژهای آلومینیم و مس ( بیش از  $2$ ٪ مس ) جزء آلیاژهایی است که عملیات حرارتی روی آنها انجام می گیرد .

## تولید آلیاژ

مس به دلیل نقطه ذوب بالا ،  $1083$  درجه سانتیگراد ، به صورت خالص به آلیاژ اضافه نمی شود و بیشتر از آمیزان  $50-50$  و آمیزان اوتکتیک  $33-67$  استفاده می کنند . برای ساخت آمیزان ها ابتدا مس را ذوب می کنند و از ایجاد حرارت فوق ذوب جلوگیری نموده و آلومینیم را در قطعات کوچک و به دفعات  $4$  تا  $5$  مرتبه به آن می افزایند . در عمل بعد از ذوب آلومینیم ، درجه حرارت فوق ذوب را تا  $30^{\circ}\text{C}$  بالا می برند و سپس آمیزان را به نسبت مورد لزوم به آن می افزایند . کلیه عملیات کیفی مذاب بعد از افزایش مس انجام می گیرد و فقط فلاکس های پوششی قبل از افزایش آمیزان مس همراه با شارژر به بوتله داده می شوند .

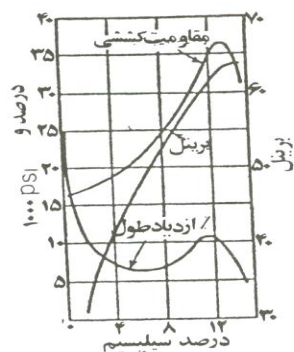
## آلومینیم - سیلیسیم

سیلیسیم در تمام آلیاژهای تجارتي آلومینیم وجود دارد و در انواع آلیاژهای ریخته گری و بخصوص در سیلومین ها مقدار آن تا 13٪ می رسد .

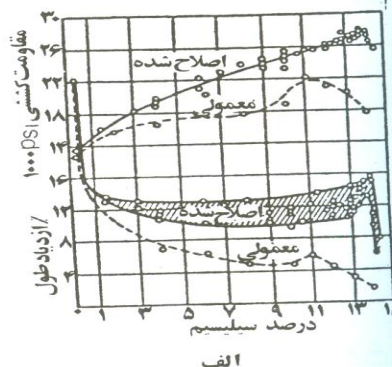
از دیاگرام تعادل این دو عنصر نتیجه می گردد که حلالیت سیلیسیم در آلومینیم در درجه حرارت محیط ناچیز است و از 0/05 درصد تجاوز نمی کند و سیلیسیم نامحلول با فاز آلومینیم با حلالیت ناچیز در شبکه ساختمانی خود باقی می ماند که دارای ساختمان اوتکتیکی و درشت و سوزنی شکل است و به همین دلیل به وسیله سدیم شبکه آن را ظریف می کنند . تأثیر سیلیسیم در خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم به ساختمان میکروسکوپی و چگونگی انجماد آن بستگی دارد و از این رو این آلیاژ در شرایط مختلف تولید ( ماسه ، فلزی ، تحت فشار ) خواص متفاوتی دارد که در نمودار 3-4 مشخصات کلی آنان درج گردیده است و از آنها چنین استنباط می گردد که قالب های فلزی ، بهترین نتیجه را در ریخته گری این آلیاژ دارد .

این آلیاژها عملیات حرارتي بخصوصی ندارند و خواص مکانیکی آنها تغییرات عمده ای در اثر عملیات محلولی و پیر سختی ندارند .

سیلیسیم با افزایش سیالیت آلیاژ ( ترکیب اوتکتیک ) و کاهش درصد جذب گاز و تسهیل انجماد پوسته ای ، خواص ریخته گری آلیاژ را بهبود می بخشد و از این نظر آلیاژ بسیار مناسبی می باشد .



نمودار شکل 3-4: تأثیر سیلیسیم در خواص آلومینیم  
الف) ریخته گری در ماسه      ب) ریخته گری در قالب فلزی



## تولید آلیاژ

سیلیسیم معمولاً به صورت آمیزان آلومینیم - سیلیسیم با ترکیب 13٪ یا 22٪ سیلیسیم به مذاب افزوده می شود که این آلیاژ در اثر القاء سیلیسیم خورد شده به مذاب آلومینیم ، تولید می گردد . سیلومین ها به سهولت در آلومینیم مذاب حل می شوند . نقطه ذوب آنها حدود  $580^{\circ}\text{C}$  می باشد. بایستی توجه داشت که اعمال دگازین و فلاکسینگ همواره قبل از ظریف کردن با سدیم انجام می گیرد .

## آلومینیم و منیزیم

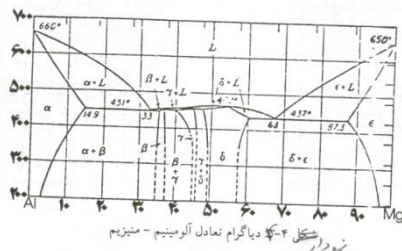
چگونگی واکنش منیزیم در آلومینیم تقریباً مانند مس می باشد و دیاگرام تعادل این دو عنصر در نمودار 4-4 نشان داده شده است که مشخص کننده تغییرات حلالیت منیزیم در آلومینیم ( فاز  $\alpha$  ) از 14/9٪ در درجه حرارت اوتکتیک ( $451^{\circ}\text{C}$ ) تا 2/9٪ در درجه حرارت محیط است .

فاز  $\beta$  ( فاز میانی ) تقریباً سخت و از مازاد حلالیت منیزیم در آلومینیم حاصل می گردد و از این رو آلیاژهای آن ( بیش از 3٪ منیزیم ) عملیات حرارتی را می پذیرند .

منیزیم تاثیر شدید در ایجاد انواع ترکیبات فلزی و غیر فلزی مانند  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$

دارد که هر یک به شدت خواص مکانیکی در ریخته گری آلیاژ را تقلیل می دهند .

آلیاژهای منیزیم - آلومینیم به دلیل شدت اکسیداسیون و جذب گاز در عملیات ذوب احتیاج به محافظت بیشتری دارند و همان گونه که در بخش های پیشین ذکر گردید انواع و اقسام فلاکس های و گاززدهای حاوی سدیم نمی توانند در این آلیاژ به کار روند .





## تولید آلیاژ

آلیاژهای منیزیم تا 2٪ می توانند مستقیماً با افزایش منیزیم خالص به مذاب ایجاد گردند . بدهی است اتلافات در جریان ذوب این عنصر هواره زیاد می باشد و از این اغلب از آمیزان Al-Mg با 10٪ منیزیم استفاده می کنند . اکسیژن زدایی در این آلیاژها توسط برلیم انجام می گیرد که در مباحث قبلی مورد مطالعه قرار گرفته است . سیالیت آلیاژهای حاوی منیزیم کم می باشد ، از این رو سیستم های راهگامی معمولاً از اندازه های عادی بزرگتر در نظر گرفته می شوند و همچنین فعل و انفعالات قالب و مواد آن در آلیاژ شدید است .

## سایر آلیاژها

آلیاژهای چندگانه آلومینیم - منیزیم - مس ، آلومینیم - روی - مس و آلومینیم - منیزیم - سیلیسیم ، هر یک در صنایع ریخته گری مورد استفاده فراوان قرار می گیرند که مشخصات عمومی ترکیبی آن ها در بخش اول (جدول 3-1) نشان داده شده است . این آلیاژها همواره حاوی ناخالصی های آهن ، روی ، قلع ، آنتیموان ، کادمیم و سرب می باشند که با ایجاد فازهای میانی و ترکیبات فلزی خواص آلیاژ را تغییر می دهند .

بیشتر آلیاژهای ریخته گری آلومینیم را می توان به یکی از گرو های زیر منصوب نمود :

- 1- آلومینیم - مس : که در سیستم ASTM با کد C مشخص گردیده اند و برحسب مقدار مس ( بیش از 2٪ ) قابل عملیات حرارتی و غیر قابل عملیات حرارتی تقسیم می شوند .
- 2- آلومینیم - سیلیسیم : که عموماً عملیات حرارتی ندارند و در سیستم ASTM با کد S مشخص می گردند .
- 3- آلومینیم - مس - سیلیسیم : که از نظر عملیات حرارتی برحسب ترکیب به دو دسته اصلی تقسیم می شوند و با کد SC یا CS مشخص می گردند .
- 4- آلومینیم - منیزیم : با کد G که همچنین از نظر قبول عملیات حرارتی به دو دسته تقسیم می شوند .
- 5- آلومینیم - سیلیسیم - منیزیم : که عملیات حرارتی در آن ها مؤثر است .
- 6- آلیاژهای آلومینیم - روی
- 7- آلیاژهای مخصوص ، مس - نیکل - آلومینیم و مس - قلع - آلومینیم

در دسته بندی فوق آلیاژهایی که عملیات حرارتی را قبول می کنند تحت تأثیر عملیات حرارتی محلولی خواص مکانیکی مطلوب می یابند و همچنین این آلیاژها در اثر عملیات حرارتی و تغییر شکل ترکیبات فلزی ناشی از ناخالصی ها ، از شکنندگی زایل برکنار می مانند.

خواص مکانیکی و ریخته گری آلیاژهای آلومینیم

مسلماً اولین نیاز در ریخته گری و تولید هر آلیاژ خواص مکانیکی و مقاومت های مکانیکی آن می باشد ، همچنین قابلیت ماشینکاری ، مقاومت به خوردگی ، هدایت و قیمت تمام شده از جمله مسائلی است که بایستی مورد توجه قرار گیرند . همچنین بسیاری از آلیاژها به دلیل انجماد و جهات انقباضی فقط در یک سیستم خاص تولیدی تهیه می شوند و یا مرجح می گردند .

در این قسمت به جای هر گونه شرح و بسط در جداول 1-4 تا 11-4 مشخصات ریخته گری مکانیکی و فیزیکی آلیاژهای مهم ریخته گری و استانداردهای مختلف آن در حد امکان درج گردیده است .

نکات قابل توجه در استفاده از جداول این بخش به شرح زیر می باشد :

1- جداول 1-4 مشخصات ریخته گری و و موارد استفاده آلیاژهای ریخته گری در سیستم انگلیسی که ترکیب شیمیایی آنها در جداول 3-1 پ درج شده است را نشان می دهد . در این جدول حروف استفاده شده به ترتیب عبارتند از :

E عالی

G خوب

F متوسط

P ضعیف

U نامناسب

2- جدول 2-5 مقاومت و خواص مکانیکی آلیاژهای ریختگی در سیستم انگلیسی را در دو نوع ریخته گری در ماسه و در قالب فلزی (مبرد) نشان می دهد . در این جدول علائم استفاده شده عبارتند از :

M شرایط ریختگی

W عملیات حرارتی محلولی

P عملیات رسوب سختی یا پیر سختی

- 3- جدول 3-5 مشخصات فیزیکی آلیاژهای ریختگی سیستم انگلیسی را تعیین می کند .
- 4- جدول 4-5 ترکیب و استاندارد آلیاژهای ریختگی در ماسه در سیستم ASTM را مشخص می نماید و جدول 5-5 مشخصات ریخته گری و فیزیکوشیمیایی همان آلیاژها را نشان می دهد . نکته حائز اهمیت در جدول و جداول 5-7 و 5-9 آن است که عدد 1 معرف بهترین حالت و عدد 5 معرف بدترین خاصیت می باشد .
- 5- در جدول 5-6 و 5-8 به ترتیب آلیاژهای قابل ریخته گری در قالب های فلزی و تحت فشار مشخص گردیده اند و در جداول 5-7 و 5-9 مشخصات ریخته گری و فیزیکوشیمیایی آنها درج شده است .
- 6- در جدول 5-10 خواص مکانیکی آلیاژهای ریخته گری در تحت شرایط مختلف عملیات حرارتی درج گردیده است . نکات حائز اهمیت در این جدول عبارتند از :

F شرایط ریخته گری

T<sub>4</sub> عملیات حرارتی محلولی

T<sub>6</sub> عملیات حرارتی محلولی و رسوب سختی

T<sub>T</sub> آنیل شده ( نرم شده )

T<sub>5</sub> عملیات حرارتی پیر سختی

T<sub>7</sub> عملیات حرارتی محلولی و پیر سختی زیاد

استاندارد	قالب ماسه‌ای	قالب فلزی	تحت فشار	سیالیت	مقاومت به شکستگی گرم	ریخته‌گری تحمل فشار	موارد استعمال
مصارف عمومی							
LM1	F*	G	F*	F	F	F	مقاصد عمومی قالب فلزی
LM2	G*	G*	E	G	E	G	ریخته‌گری آلیاژهای تحت فشار
LM4	G	G	G	G	G	G	خواص خوب ریخته‌گری اکثر موارد
LM6	E	E	G	E	E	E	قطعات بزرگ، ضخامت کم، تمام قالبها
LM21	G	G*	G	G	G	G	مانند LM4، ماشین کاری خوب
مصارف ویژه							
LM0	F	F	F	F	P	F	قالب ماسه‌ای، مقاصد الکتریکی، صنایع غذایی
LM3	G	U*	F	F	P	P	قالب ماسه‌ای، مقاومت خوب، زیر دریایی‌ها
LM5	F	F*	F	F	F	P	مقاوم به خوردگی
LM8	G	G	G*	G	G	G	مقاوم به خوردگی، مقاوم مکانیکی
LM9	G*	E	G	G	E	G	مانند LM6 و مقاومت کششی بیشتر
LM10	F	F	F*	F	G	P	قبول عملیات حرارتی، شرایط خاص ریخته‌گری
LM11	F	P	U*	F	P	P	مقاوم
LM12	F	G	U*	F	G	G	قابل استفاده در درجه حرارت‌های تبخیر آب
LM16	G	G	G*	G	G	G	برای تمام قالب‌ها، مقاوم
LM18	G	G	G*	G	E	E	مقاوم به خوردگی
LM20	E*	E	G	E	E	E	مانند LM6
LM22	G*	G	G*	G	G	G	قبول عملیات حرارتی، مقاوم
LM23	G	G	F*	F	G	G	ساخت موتورهای احتراقی
LM24	F*	F*	E	G	G	G	مانند LM2
آلیاژ پیستون							
LM13	G	G	F*	G	E	F	آلیاژ پیستون
LM14	F	G	U*	G	G	F	آلیاژ پیستون

جدول ۱-۴) مشخصات ریخته‌گری و موارد استعمال آلیاژهای آلومینیم (استاندارد انگلستان)

آلیاژ	ریخته‌گری در ماسه				ریخته‌گری در قالب فلزی				الیاز
	تسلیم قراردادی	مقاومت کششی T/sq.in	ازدیاد طول	سختی برینل	تسلیم قراردادی	مقاومت کششی T/sq.in	ازدیاد طول	سختی برینل	
B.S.1490* 1963									B.S.1490* 1963
	مصارف عمومی				مصارف عمومی				
LM 1-M	۵/۵	۹	۱	۷۰	۷	۱۱	۲	۸۰	LM 1-M
LM 2-M	۵	۹	۱	۷۰	۵/۵	۱۲	۲	۸۰	LM 2-M
LM 4-M	۶	۱۰	۲	۷۰	۶	۱۳	۳	۸۰	LM 4-M
LM 4-WP	۱۵	۱۸	۱	۱۰۵	۱۵	۲۰	۳	۱۱۰	LM 4-WP
LM 6-M	۴	۱۱	۸	۵۵	۴/۵	۱۳	۱۳	۶۰	LM 6-M
LM 21-M	۸	۱۲	۱	۸۵	۸	۱۳	۲	۹۰	LM 21-M
	مصارف ویژه				مصارف ویژه				
LM 0-M	۲	۵	۳۰	۲۵	۲	۵	۴۰	۲۵	LM 0-M
LM 3-M	۱۱	۱۳	-	۱۱۰	-	-	-	-	LM 3-M
LM 5-M	۵	۱۱	۵	۶۰	۵	۱۵	۱۰	۶۵	LM 5-M
LM 8-M	۵	۸/۵	۲/۵	۵۵	۶	۱۱	۵	۶۰	LM 8-M
LM 8-P	۸/۵	۱۰	۱	۶۵	۸/۵	۱۳	۲	۷۰	LM 8-P
LM 8-W	۶/۵	۱۱/۵	۳	۶۵	۶/۵	۱۶	۶	۷۰	LM 8-W
LM 8-WP	۱۴	۱۸	۱	۸۵	۱۴	۲۰	۳	۹۰	LM 8-WP
LM 9-P	۷	۱۲	۲	۷۰	۸/۵	۱۶	۲/۵	۸۰	LM 9-P
LM 9-WP	۱۴	۱۶/۵	-	۱۰۰	۱۷	۲۰	۱	۱۱۰	LM 9-WP
LM 10-W	۱۱	۲۰	۱۵	۸۵	۱۳	۲۳	۲۰	۹۵	LM 10-M
LM 11-W	۱۰	۱۷	۱۰	۷۵	۱۰	۱۹	۱۵	۸۵	LM 11-W
LM 11-WP	۱۳	۱۹	۵	۹۵	۱۳	۲۲	۱۰	۱۰۰	LM 11-WP
LM 12-M	-	-	-	-	۹	۱۲	-	۹۵	LM 12-M
LM 12-WP	-	-	-	-	۱۸	۲۰	-	۱۳۰	LM 12-WP
LM 16-W	۸	۱۳/۵	۳	۸۰	۹	۱۶	۶	۸۵	LM 16-W
LM 16-WP	۱۵	۱۸	۱	۱۰۰	۱۶	۲۰	۲	۱۱۰	LM 16-WP
LM 18-M	۴	۸	۵	۴۰	۴/۵	۱۰	۶	۵۰	LM 18-M
LM 20-M	۴	۱۱	۵	۵۵	۴/۵	۱۴	۷	۶۰	LM 20-M
LM 22-W	-	-	-	-	۷	۱۷	۹	۷۵	LM 22-M
LM 23-P	۷	۱۱	۲	۷۰	۸	۱۳	۳	۷۵	LM 23-P
LM 24-M	-	-	-	-	۶	۱۳	۲	۸۵	LM 24-M
	آلیاژ پیستون				آلیاژ پیستون				
LM 13-WP	۱۲	۱۳	-	۱۱۵	۱۸	۱۹	۱	۱۲۵	LM 13-WP
LM 14-WP	۱۴	۱۵	۱	۱۱۰	۱۵	۱۹	۱	۱۲۰	LM 14-WP

جدول ۲-۳) خواص مکانیکی آلیاژهای ریخته‌گری آلومینیم

استاندارد انگلیسی ۱۴۹۰	خواص فیزیکی و عمومی					
	وزن مخصوص gr/cm <sup>3</sup>	ضریب انبساط خطی	هدایت حرارتی در ۲۵°C	هدایت الکتریکی در ۲۰°C در C.G.S	قابلیت ماشینکاری	مقاومت در برابر خوردگی
LM1	۲/۹۲	۲۳	۰/۲۹	۳۰	G	P
LM2	۲/۷۴	۲۰	۰/۲۴	۲۶	F	G
LM4	۲/۷۳	۲۱	۰/۲۹	۳۲	G	G
LM6	۲/۶۵	۲۰	۰/۳۴	۳۷	F	E
LM21	۲/۸۱	۲۱	۰/۲۹	۳۲	G	G
LM0	۲/۷۰	۲۴	۰/۵۰	۵۷	F	E
LM3	۳/۰۲	۲۴	۰/۳۵		E	P
LM5	۲/۶۵	۲۳	۰/۳۳	۳۱	G	E
LM8	۲/۶۸	۲۳	۰/۳۶	۳۹	F	E
LM9	۲/۶۸	۲۲	۰/۳۵	۳۸	F	E
LM10	۲/۵۷	۲۵	۰/۲۱	۲۰	G	E
LM11	۲/۸۰	۲۳	۰/۳۳	۳۵	G	F
LM12	۲/۹۴	۲۲	۰/۳۱	۳۳	E	P
LM16	۲/۷۰	۲۳	۰/۳۴	۳۶	G	G
LM18	۲/۶۹	۲۲	۰/۳۴	۳۷	F	E
LM20	۲/۶۸	۲۰	۰/۳۷	۳۷	F	G
LM22	۲/۷۷	۲۱	۰/۲۹	۳۲	G	G
LM23	۲/۷۷	۲۲	۰/۴۲	۴۱	G	G
LM24	۲/۷۹	۲۱	۰/۲۳	۲۴	F	G
LM13	۲/۷۰	۱۹	۰/۲۸	۲۹	F	G
LM14	۲/۸۲	۲۳	۰/۳۲	۳۳	G	F

جدول ۳-۵) مشخصات فیزیکی آلیاژهای ریختگی (آلومینیم)

## ساختمان ریختگی آلیاژهای آلومینیم

ساختمان ریختگی آلیاژهای آلومینیم ، دقیقاً به کلیه اعمال اساسی و کیفی در جریان ذوب و ریخته گری آلومینیم و انجماد آن بستگی دارد که بخصوص در مورد آلیاژهای نوردی و آلیاژهایی که عملیات حرارتی معین را پذیرا می شوند ، مختصات نهایی و خواص عمومی آلیاژها به ساختمان قطعه پس از انجام عملیات بعدی نیز وابستگی شدید دارد .

بدیهی است ساختمان کریستالی ریز و یکنواخت ، خواص مکانیکی مطلوبی تر و اشکالات کمتری را ایجاد می نماید و در این میان تأثیر سرعت سرد کردن از اهمیت ویژه ای برخوردار است .

در قطعات ریختگی با مقاطع یکنواخت تحت درجه حرارت بارریزی ثابت دانه ها در قالب های ماسه ای ، فلزی و تحت فشار به ترتیب ریزتر و یکنواخت تر می گردد . اندازه دانه های آلیاژهای که قابلیت انجام عملیات حرارتی را دارند در اثر سرعت سرد کردن تغییرات عمده ای نمی یابند و در این مورد استفاده از ریزکننده ها مانند TiC یا TiB<sub>2</sub> برای ایجاد دانه های یکنواخت ریز ، الزامی است . نمونه چنین آلیاژهایی انواع دورآلومین ها با ترکیب ، 3/9 تا 5٪ مس و 1 تا 1/5٪ منیزیم می باشد .

قطعاتی که مقاطع یکنواختی ندارند با ایجاد مبرد در ماسه و تغییر سرعت سرد کردن در مقاطع مختلف به شبکه یکنواخت دست می یابند که نهایتاً زمان انجماد در تمام مقاطع یکسان می گردد که در این حال استفاده از منابع تغذیه برای جلوگیری از شکستگی های گرم و رفع کسری های ناشی از انقباض مورد توجه قرار می گیرد .

آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم را با استفاده از سدیم ، ظرفیت و یکنواخت می کنند که با وجود تأثیر متفاوت نسبت به TiC عمل ریز کردن و پخش یکنواخت را در این آلیاژها به خوبی انجام می دهد و خواص مکانیکی و مقاومت به ضربه آلیاژ را شدیداً بالا می برد میزان سدیم مصرفی نباید از 0/15 درصد نیز برای کلیه آلیاژهای آلومینیم به استثناء آلیاژهایی که حاوی بیش از 9٪ سیلیسیم می باشند تأثیر ریز کنندگی مطلوبی دارد .

در آلیاژهای که در سیستم تحت فشار ریخت می شوند ، دانه های ریختگی تحت قدرت سرد کنندگی قالب بسیار ریز و یکنواخت می شوند و در این مورد کمتر از مواد ریز کننده استفاده می شود .

تعداد کانال های فرعی در توزیع یکنواخت حرارت عامل بسیار مهمی است و از این رو استفاده از چند کانال فرعی در انجماد یکنواخت آلیاژ تأثیر خوبی دارد .

آلیاژهای نوردی در انواع شمش ها و بیلت ها ضخامت زیاد ریخته می شند و روش های ریخته گری مداوم و نیمه مداوم تحت تأثیر مستقیم سرد کردن ب آب مهمترین طبقه های تولید این قطعات هستند .

درجه حرارت بارریزی بر حسب نوع آلیاژ متفاوت است . حدود  $700^{\circ}\text{C}$  برای آلومینیم خالص ، برای آلیاژهای آلومینیم - منگنز حدود  $720^{\circ}\text{C}$  و حدود  $680^{\circ}\text{C}$ - $690^{\circ}\text{C}$  برای آلیاژهای آلومینیم - منیزیم انتخاب می گردد ، در حالی که حداقل شمشها یا بیلت ها 10 و حداکثر آنها از 40 سانتیمتر تجاوز نمی کند .

از آنجای که قسمت فوقانی سیستم های مداوم و نیمه مداوم همواره مذاب می باشد ، از این رو آخال ها به سرعت در مذاب فوقانی شناور می مانند و لذا مقدار آنها در قطعه جامد تقلیل می یابد.

فاصله انجماد ، شدیداً تحت تأثیر نوع آلیاژ می باشد و برای حذف مشکلات مربوط به فاصله انجماد زیاد و نوع انجماد خمیری ، حتی المقدور بایستی قطر متوسط قطعه یا شمش را کاهش داد و در عین حال نیز از عوارض ناشی از جدایش ترکیبات بین فلزی در حد امکان جلوگیری نمود . از طرف دیگر ابعاد کوچکتر شمش باعث تقلیل تخلخل و حباب های ناشی از وجود گاز هیدروژن در قطعه می گرد که این امر نیز ناشی از افزایش سرعت سرد کردن است .

براساس آنچه از دیاگرام های تعادل آلیاژهای آلومینیم استخراج گردیده است فاصله انجماد آلیاژهای مختلف آلومینیم به شرح زیر است .



1	آلومینیوم	روی	8	منیزیم	مس	حدود 170 درجه سانتیگراد
2	آلومینیوم	روی	5	منیزیم	مس	حدود 170 درجه سانتیگراد
3	آلومینیوم	روی	6	منیزیم		حدود 160 درجه سانتیگراد
4	آلومینیوم	مس	4	سیلیسیم	منیزیم	حدود 130 درجه سانتیگراد
5	آلومینیوم	مس	4	منیزیم		حدود 130 درجه سانتیگراد
6	آلومینیوم	روی	4	منیزیم		حدود 140 درجه سانتیگراد
7	آلومینیوم	سیلیسیم	-	منیزیم		حدود 40 درجه سانتیگراد

و آلیاژهای دو گانه آلومینیم - منیزیم بر حسب درصد منیزیم 20 تا 80 درجه سانتیگراد .

باید به این اصل توجه کرد که وجود ناخالصی های مانند آهن ، منگنز و ایجاد ترکیبات اوتکتیک تغییرات مختصری را در ارقام فوق ایجاد می نمایند .

ترکیبات بین فلزی متعددی هم براساس ترکیبات مختلف آلیاژی در ساختمان قطعه و شمش ریختگی پدید می آیند که مختصراً عبارتند از :

1-  $MgZn_2$  ,  $Al_2Mg_3Zn_3$  ,  $CRaL_7$  در آلیاژهای آلومینیم - روی - منیزیم ( کرم و منگنز در این آلیاژها به

عنوان ناخالصی حضور می یابند . )

2-  $Al_6Mn$  ,  $Mg_2Si$  ,  $Al_2Cu$  ,  $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$  در آلیاژهای آلومینیم - مس - سیلیسیم - منیزیم .

3-  $Al_5Cu_2Mg_2$  ,  $Al_2CuMg$  ,  $Al_2Cu$  در آلیاژهای آلومینیم - مس - منیزیم

4-  $Al_3Fe$  ,  $Al_4Si_2Fe$  ,  $Al_6Mn$  ,  $Al_3Mn$  ,  $Al_3Mg_2$  در آلیاژهای آلومینیم - منیزیم - منگنز .

ترکیبات فوق در مدول الاستیسیه و خواص فرم پذیری آلیاژها و همچنین در تبلور مجدد دانه ها بسیار مؤثرند .

شرایط انجماد در قالب و در روش های متفاوت است . زیرا در روش های مداوم تقریباً سرعت انجماد و درجه انجماد ثابت و سریع هستند ، در حالی که در مورد قالب ها با توجه به فاصله هسته ها از دیواره قالب سرعت انجماد متفاوت و در ابتدای انجماد از سرعت بیشتری برخوردار است و این امر باعث می شود که حباب های

گازی و انقباضات بیشتر در مراکز قطعه متمرکز گردند. در این صورت یکنواختی اندازه دانه ها در روش های مختلف، متفاوت می باشد که مجموعاً می توان ساختمان قطعه ریختگی را تحت شرایط مختلف به طرق زیر طبقه بندی کرد:

الف) سرعت سرد کردن و تعقیب شیب حرارتی در قطعه ریختگی که انواع رشد ماکروسکپی قطعه را از نظر اندازه و پخش تنظیم می نماید و در این مورد روشهای سرد کردن مستقیم ( نیمه مداوم و مداوم ) از شرایط مطلوبتری برخوردارند.

ب) استفاده از مواد ریزکننده که پخش یکنواخت و ریز شبکه را حاصل می نماید و در همان حال ترکیبات مختلف فلزی و غیر فلزی را نیز به مذاب القاء می کند.

ج) وجود ترکیبات بین فلزی، مازاد بر حلالیت که در اثر سرعت سرد کردن و پدیده جدایش و وجود ناخالصی ها حاصل می گردند و مجموعاً باعث می گردند که قطعات ریختگی قبل از عملیات مکانیکی تحت تأثیر عملیات حرارتی همگن سازی (Homogenizing) قرار گیرند.

### خواص مکانیکی آلیاژهای ریختگی

آلیاژهای آلومینیم - مس 5 منیزیم - تیتانیم

این آلیاژ بهترین خواص مکانیکی را در شرایط ریخته گری در ماسه و قالب فلزی بدست می دهد و از آنجا که عملیات حرارتی آن در  $530^{\circ}\text{C}$  انجام می گیرد، برای ریخته گری تحت فشار مناسب نیست.

ساختمان ریختگی با ساختمان قطعه بعد از هموژنیزه کردن در  $530^{\circ}\text{C}$  کاملاً متفاوت می باشد و از این رو خواص مکانیکی در شرایط ریختگی پایین است و افزایش مس در ماتریس و تقلیل آن در مرز کریستالی، افزایش مقاومتی جسم را در بر خواهد داشت.

هر چند جداول متعدد، مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول معینی را برای این آلیاژ ارائه می دهند ولی روش بارریزی، ضخامت قطعه ریختگی، چگونگی تغذیه مذاب، استفاده از مبرد و سیستم راهگامی در تغییرات

خواص مکانیکی بسیار مؤثرند و از این رو عامل بسیار مهم در تعیین خواص این آلیاژ ایجاد جهت انجماد و چگونگی پخش و اندازه حباب های گازی و انقباضات پراکنده است .

شرایط عمده ریخته گری این آلیاژ عبارتست از :

- 1- مواد شارژ با ترکیبات شناخته شده و عاری از هرگونه مواد خارجی
- 2- عدم استفاده از مواد قراضه بیش از 50٪ شارژ
- 3- احتراز از تماس حصولات احتراق و فلز مذاب
- 4- فوق مذاب در درجه حرارت های کمتر از  $750^{\circ}\text{C}$
- 5- استفاده از مواد گازر و فلاکس با ترکیبات معین
- 6- احتراز از تماس مستقیم ابزارها و ادوات آهنی با فلز مذاب
- 7- کنترل درجه حرارت بارریزی

در نهایت مقاوت کششی این آلیاژ در تحت شرایط ریختگی از  $24\text{kg/mm}^2$  و درصد طول آن از 3٪ تجاوز نمی کند .

آلیاژ آه و منیم - سیلیسیم 5 - منیزیم

این آلیاژ از مقاوت به خوردگی کافی و مقاوت مکانیکی بسیار مطلوب برخوردار است ولی خواص ریختگی آن برای ریخته گری های تحت فشار مناسب نیست .

درجه حرارت عملیات حرارتی آن  $540^{\circ}\text{C}$  می باشد و مقاوت کششی آن در شرایط ریختگی حدود  $14\text{kg/mm}^2$  است . این آلیاژ به دلیل وجود سیلیسیم از سیالیت فراوان برخوردار است و روش های ریخته گری در ماسه و یا در قالب فلزی عمده ترین طریقه تهیه قطعات آن می باشد .

آلیاژهای این دسته با مقدار 10٪ سیلیسیم نیز از مشخصات مطلوب برخوردارند .

## آلیاژ آلومینیم - منیزیم 10

این آلیاژ نیز مقاومت به خوردگی و استحکام زیادی دارد و باتوجه به اشکالات فراوانی در ریخته گری تحت فشار ایجاد می کند، بهترین خواص مقاومتی را در شرایط تحت فشار حاصل می کند.

مس در این آلیاژ جزء عناصر نامطلوب می باشد و بایستی کنترل گردد زیرا وجود ترکیب  $AlCu_5MgTi$  در حضور مس اجتناب پذیر می باشد و خواص کششی قطعه را شدیداً کاهش می دهد. در امر ذوب و ریخته گری این آلیاژ، توجهات متعددی در جوانب مختلف منظور می گردد که اهم از آنها عبارتند از:

1- ذوب باید در بوته های گرافیتی و با بوته هایی که ورود آهن و سیلیسیم (بوته های سیلیکاتی) رابه مذاب حداقل می کنند انجام شود.

2- از درجه فوق ذوب بالا به دلیل تقلیل اکسیداسیون مذاب، اجتناب شود.

3- از استفاده مستقیم برگشتی ها، برای ذوب مجدد، خودداری شود.

4- از دگازرها و فلاکس های حاوی سدیم، اجتناب شود.

5- طراحی صحیح سیستم راهگامی، تغذیه گذاری برای اجتناب از ایجاد تنش های انجماد.

6- استفاده از تیتانیم برای ریز کردن دانه ه.

7- تقلیل خواص رطوبتی ماسه با استفاده از واد مختلف (اسید بوریک، گوگرد)

در حالی که آلیاژهای دیگر آلومینیم، مانند آلیاژهای حاوی روی، منگنز و... نیز در صنعت استعمال فراوان دارند تشریح خواص مکانیکی و شرایط ریخته گری هر یک باعث طولانی شدن مطلب خواهد گردید ولی به طور کلی می توان چنین استنباط نمود که قطعات ریختگی در طرق مختلف تولیدی هرگز نمی توانند مشخصات کامل نمونه های آزمایشی را که در شرایط ایده آل حاصل می شوند، ایجاد کنند و از این رو در شرایط تولیدی به نکاتی توجه می شود که ارزش تمام شده کالای تولیدی را به میزان متناهی افزایش ندهد. در این حال، چگونگی و کیفیت شارژ، عملیات کیفی مذاب، روش های مختلف قالب گیری، چگونگی ذوب و استفاده از عناصر مختلف، از اهم مطالبی است که در مراحل ذوب مورد توجه قرار می گیرند تا بتوان خواص مطلوب و بهبود یافته شده شده ای را در قطعه ریختگی ایجاد کرد.