



# تطبيق استاندارد های آلیاژ های آلومینیوم، مس، منیزیم، نیکل و تیتانیوم

مؤلف:

مهندس علیرضا نصر اصفهانی



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الطاهرين  
نبينا محمد وآل  
الطاهرين  
الطاهرين  
الطاهرين

# تطبيق استانداردهای آلیاژهای آلومینیم، مس، منیزیم، نیکل و تیتانیم

مؤلف: مهندس علیرضا نصر اصفهانی

نصراصفهانی، علیرضا  
تطبیق استانداردهای آلیاژهای آلومینیوم، مس، منیزیم، نیکل و تیتانیوم / مؤلف علیرضا نصراصفهانی. - تهران:  
دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۴.  
VII، ۲۸۷ص: جدول - (انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ ۴۴)  
ISBN: 964-8452-12-1: ریال ۴۵۰۰۰

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.  
کتابنامه.

۱. آلیاژها - استانداردها. الف. دانشگاه صنعتی مالک اشتر. ب. عنوان.

۶۶۹/۹۴

ت.ع.ن ۴۸۳/ TA

کتابخانه ملی ایران

۱۷۴۳۹-۸۴ م



انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر



دانشگاه صنعتی مالک اشتر

«مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت»

عنوان کتاب: .....تطبیق استانداردهای آلیاژهای آلومینیوم، مس، منیزیم، نیکل و تیتانیوم

تألیف: ..... علیرضا نصراصفهانی

ناشر: ..... انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر

طرح روی جلد: ..... فریناز عسگری

لیتوگرافی، چاپ، صحافی: ..... مرکز خدمات فرهنگی مطهر ۴-۳-۸۰۳-۲۲۹۵

تیراژ: ..... ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: ..... اول، زمستان ۱۳۸۴

قیمت: ..... ۴۵۰۰ تومان

ISBN: 964-8452-12-1

شابک ۱-۱۲-۸۴۵۲-۹۶۴

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.

آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز آموزشی، پژوهشی و خدمات اطلاع‌رسانی

مدیریت انتشارات و مستندسازی. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

۱	فصل اول
۱	مقدمه
۱	۱-۱ سیستم نامگذاری متحد
۵	فصل دوم
۵	آلومینیم و آلیاژهای آن
۵	مقدمه
۵	۱-۲ تقسیم بندی آلیاژهای آلومینیوم
۶	۲-۲ نامگذاری آلیاژهای آلومینیم
۶	۱-۲-۲ آلیاژهای آلومینیوم کار شده در سیستم آمریکایی
۷	۲-۲-۲ علائم عملیات حرارتی و حالات سختی در سیستم آمریکایی
۱۱	۳-۲-۲ آلیاژهای ریختگی آلومینیوم
۱۱	۳-۲ نامگذاری دراستاندارد آمریکایی (AA)
۱۲	۴-۲ تأثیر عناصر آلیاژی بر روی خواص آلیاژهای آلومینیم
۱۲	منیزیم (Mg)
۱۴	سیلیسیم (Si)
۱۶	مس (Cu)
۱۷	منگنز (Mn)
۱۸	آهن (Fe)
۱۹	کرم (Cr)

۱۹	روی (Zn)
۲۰	تیتانیوم (Ti)
۲۰	زیرکونیم (Zr)
۲۱	سدیم (Na)
۲۱	تطبیق استانداردهای آلومینیوم
۲۳	تطبیق استانداردهای کشورهای صنعتی آلیاژهای آلومینیوم (کار شده)
۵۹	تطبیق استانداردهای کشورهای صنعتی آلیاژهای آلومینیوم (ریختگی)
۷۹	خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم (کار شده)
۸۵	خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم (ریختگی)
۸۸	ترکیب شیمیایی آلیاژهای آلومینیوم (کار شده)
۹۱	ترکیب شیمیایی آلیاژهای آلومینیوم (ریختگی)
۹۴	خواص فیزیکی آلیاژهای آلومینیوم (کار شده)
۹۷	خواص فیزیکی آلیاژهای آلومینیوم (ریختگی)
۹۹	<b>فصل سوم</b>
۹۹	مس و آلیاژهای آن
۹۹	مقدمه
۹۹	۱-۳ آلیاژهای مس
۱۰۰	۲-۳ نامگذاری آلیاژهای مس
۱۰۲	۳-۳ آلیاژهای ریختگی مطابق با استاندارد SAE (SAE J461 SEP81)
۱۰۲	۱- برنز قلع
۱۰۲	۲- برنز قلع و سرب
۱۰۲	۳- برنج فرمز سرب دار

۱۰۲	۴- برنز آلومینیوم
۱۰۲	۵- برنج زرد سرب دار
۱۰۲	۶- برنج های پر استحکام
۱۰۳	۷- آلیاژ های اهداف ویژه
۱۰۳	۳-۴ اثر عناصر آلیاژی و ناخالصی ها در آلیاژهای مس
۱۰۳	قلع (Sn)
۱۰۳	آلومینیم (Al)
۱۰۴	سیلیسیم (Si)
۱۰۴	بریلیم (Be)
۱۰۵	نیکل (Ni)
۱۰۶	روی (Zn)
۱۰۶	سرب (Pb)
۱۰۶	تطبیق استانداردهای مس
۱۰۸	تطبیق استانداردهای کشورهای شورهای صنعتی آلیاژهای مس (کار شده)
۱۳۹	تطبیق استانداردهای کشورهای شورهای صنعتی آلیاژهای مس (ریختگی)
۱۵۰	خواص مکانیکی آلیاژهای مس (کار شده)
۱۵۳	خواص مکانیکی آلیاژهای مس (ریختگی)
۱۵۵	ترکیب شیمیایی آلیاژهای مس (کار شده)
۱۵۸	ترکیب شیمیایی آلیاژهای مس (ریختگی)
۱۶۱	خواص فیزیکی آلیاژهای مس (کار شده)
۱۶۵	خواص فیزیکی آلیاژهای مس (ریختگی)

۱۶۷	فصل چهارم
۱۶۷	منیزیم و آلیاژهای آن
۱۶۷	مقدمه
۱۶۷	۴-۱ طبقه بندی آلیاژهای منیزیم
۱۶۸	۴-۲ نامگذاری و حالات سختی آلیاژهای منیزیم
۱۷۰	۴-۳ آلیاژهای کار پذیر منیزیم بر اساس استاندارد SAE J466 JNA 89
۱۷۰	۴-۴ آلیاژهای ریختگی منیزیم بر اساس استاندارد SAEJ495 JAN89
۱۷۱	۴-۵ عناصر آلیاژی در منیزیم
۱۷۱	۴-۶ تأثیر عناصر آلیاژی بر خواص آلیاژهای منیزیم
۱۷۱	آلومینیم (Al)
۱۷۲	روی (Zn)
۱۷۲	منگنز (Mn)
۱۷۲	زیرکنیم (Zr)
۱۷۲	بریلیم (Be)
۱۷۳	سیلیسیم (Si)
۱۷۳	عناصر نامطلوب
۱۷۳	۴-۷ تطبیق استانداردهای منیزیم
۱۷۵	تطبیق استانداردهای کشورهای صنعتی آلیاژهای منیزیم
۱۸۵	خواص مکانیکی آلیاژهای منیزیم
۱۸۷	ترکیب شیمیایی آلیاژهای منیزیم
۱۸۹	خواص فیزیکی آلیاژهای منیزیم
۱۹۱	فصل پنجم



۱۹۱	نیکل و آلیاژهای آن
۱۹۱	مقدمه
۱۹۱	۵-۱ شناسنامه های نیکل
۱۹۲	۵-۱-۱ انجمن آمریکایی برای مواد (ASTM)
۱۹۲	۵-۱-۲ انجمن مهندسان خودرو (SAE)
۱۹۳	۵-۱-۳ انجمن استاندارد های انگلستان (BS)
۱۹۳	۵-۱-۴ استاندارد صنعتی آلمان (DIN)
۱۹۳	۵-۱-۵ سیستم شماره گذاری واحد (UNS)
۱۹۴	۵-۲ نامگذاری تجاری
۱۹۴	۵-۳ تأثیر عناصر آلیاژی بر نیکل
۱۹۴	مس (Cu)
۱۹۴	کرم (Cr)
۱۹۵	آلومینیم (Al)
۱۹۵	تیتانیوم (Ti)
۱۹۵	سایر عناصر
۱۹۵	تطبیق استانداردهای نیکل
۱۹۷	تطبیق استانداردهای کشورهای صنعتی آلیاژهای نیکل
۲۰۸	خواص مکانیکی آلیاژهای نیکل
۲۰۹	ترکیب شیمیایی آلیاژهای نیکل
۲۱۲	خواص فیزیکی آلیاژهای نیکل
۲۱۳	فصل ششم
۲۱۳	تیتانیوم و آلیاژهای آن

۲۱۳	مقدمه
۲۱۴	۱-۶ دسته بندی آلیاژ های تیتانیم
۲۱۴	۱-۱-۶ آلیاژ های آلفا ( $\alpha$ )
۲۱۴	- آلیاژ های کاملاً $\alpha$
۲۱۵	- آلیاژ های شبه $\alpha$
۲۱۵	۲-۱-۶ آلیاژ های $\alpha+\beta$
۲۱۵	۳-۱-۶ آلیاژ های $\beta$
۲۱۶	۲-۶ تأثیر عناصر آلیاژی بر آلیاژ های تیتانیم
۲۱۶	آلومینیم (AL)
۲۱۶	قلع و زیرکونیم (Zr و Sn)
۲۱۶	نیوبیم (Nb)
۲۱۷	مولیبدن و کربن (C و Mo)
۲۱۷	گالیم (Ga)
۲۱۷	سیلیسیم (Si)
۲۱۷	اکسیژن و نیتروژن (N و O)
۲۱۷	مس (Cu)
۲۱۷	وانادیم، تنگستن و تانتالیم (Ta و W, V)
۲۱۸	کروم (Cr)
۲۱۸	تطبیق استانداردهای تیتانیم
۲۱۹	تطبیق استانداردهای کشورهای صنعتی آلیاژ های تیتانیم
۲۳۱	خواص مکانیکی آلیاژ های تیتانیم
۲۳۲	ترکیب شیمیایی آلیاژ های تیتانیم

- ۲۳۴ خواص فیزیکی آلیاژهای تیتانیم
- ۲۳۵ ضمیمه ۱: نام کشورها و اختصارات آنها
- ۲۳۶ ضمیمه ۲: معرفی موسسات انتشاراتی شناسنامه ها و استانداردهای جهانی
- ۲۳۸ ضمیمه ۳: فهرست علائم. اختصارات و شکل محصولات
- ۲۳۹ ضمیمه ۴: معرفی سیستم UNS برای آلیاژهای غیر آهنی براساس حروف الفبا
- ۲۸۵ مراجع و منابع

## بسمه تعالی

پیشگفتار:

خداوند را سپاس می گویم که به من این توانایی را عطا فرمود تا علیرغم مشغله‌های زیاد اقدام به جمع آوری و تالیف این کتاب نمایم.

این کتاب بر اساس تجارب چندین ساله در زمینه شناسایی و انتخاب مواد در صنایع هوایی و احساس نیاز به مجموعه ای کامل از اطلاعات آلیاژهای صنعتی غیر آهنی تهیه شده است. هدف از تالیف آن، تهیه مجموعه ای از استانداردهای آلیاژهای آلومینیم، مس، منیزیم، نیکل و تیتانیم در کشورهای صنعتی جهان بوده است که به همراه آن شناسنامه های مورد نظر و خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی نیز جمع آوری و معرفی شده است. به این ترتیب سعی گردیده بگونه ای عمل شود که هر یک از آلیاژهای فوق با هر استاندارد صنعتی براحتی قابل شناسایی و معادل سازی شود. این معادل سازی شامل نام آلیاژ و مشخصه آن در سایر کشورها می باشد. لذا کتاب حاضر می تواند در انتخاب مواد و طراحی قطعات صنعتی بویژه قطعات هوایی برای متخصصان، محققان و دانشجویان فنی مهندسی راه گشا باشد.

در اینجا لازم می دانم از تمامی کسانی که در رابطه با جمع آوری، تدوین و ویرایش این کتاب مرا یاری داده اند، صمیمانه تشکر و قدر دانی نمایم. به ویژه از آقایان مهندس علی فرخیان مقدم و مهندس مصطفی علیزاده آرانی به جهت جمع آوری و تطبیق استانداردها و آقایان مهندس فرهاد درویشی و مهندس حسن فرهادی به جهت جمع آوری خواص آلیاژها و نیز از آقای مهندس غلامرضا گردانی به جهت کمک در تدوین این کتاب کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت، مرکز آموزشی تحقیقاتی مهندسی مواد و مدیریت انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر بخاطر حمایت‌های همه جانبه و چاپ این کتاب تشکر و قدردانی می نمایم.

مهندس علیرضا نصرافهانی

مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت

مرکز آموزشی تحقیقاتی مهندسی مواد

## فصل اول

### مقدمه

امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی و گسترش صنایع و نیاز آنها به فلزات و آلیاژهای مختلف باعث شده تا در کنار فولاد<sup>۱</sup> از آلیاژهای غیر آهنی نیز استفاده شود. این فلزات که در اثر آلیاژ سازی با عناصر دیگر در آنها به استحکامی بیشتر از فولاد میتوان دست یافت، گاهی دارای خواص منحصر به فردی هستند که باعث می شود در کاربردهای ویژه، مورد استفاده قرار گیرند.

هدایت حرارتی خوب، بالا بودن نسبت استحکام به وزن، مقاومت در برابر خوردگی و اکسیداسیون، رنگ ظاهری، غیر مغناطیس بودن و موارد دیگر از جمله خواصی هستند که استفاده از فلزات غیر آهنی<sup>۲</sup> را الزامی می نماید. اگر چه در مقایسه با فولاد، فلزات غیر آهنی کمتر تولید می شوند، ولی در موارد خاصی نسبت به فولاد کار برد بیشتری دارند. در این کتاب سعی شده است تا آلیاژهای صنعتی که بر پایه عناصر آلومینیوم، مس، نیکل، تیتانیوم و منیزیم هستند، طبقه بندی شوند.

### ۱-۱- سیستم نامگذاری متحد

امروزه کشورهای مختلفی وجود دارند که آلیاژهای این عناصر را تولید می کنند. در این کتاب آلیاژهایی که از سیستم نامگذاری متحد<sup>۳</sup> (UNS) تبعیت می کنند، به ترتیب عددی مرتب شده اند. این آلیاژها از لحاظ نامگذاری، شکل محصول، خصوصیات مکانیکی، ترکیبات شیمیایی، شرایط عملیات حرارتی و کار سختی با هم مقایسه شده است.

---

1-Steel

2- Nonferrous Metals

3- Unified Numbering System

در سال ۱۹۶۷ میلادی انجمن آمریکایی تست مواد<sup>۱</sup> (ASTM) و انجمن مهندسان خودرو آمریکا<sup>۲</sup> (SAE) فعالیت‌های وسیعی را جهت ایجاد یک سیستم واحد آغاز نمودند. هدف از انجام این کار ایجاد یک سیستم نامگذاری منظم برای جایگزین نمودن و تکمیل گستره وسیعی از استانداردها و موسسات انتشاری و نام‌های تجاری بود. در نتیجه انجمنهای تجاری، نمایندگی‌های دولتی و شرکتهای وابسته، در این مطالعه عملی شرکت نمودند.

در سال ۱۹۷۴ دستورالعمل نامگذاری فلزات و آلیاژها توسط موسسات SAE و ASTM منتشر شد. به این ترتیب بیش از ۱۰۰۰ نوع آلیاژ فولاد، آلومینیم و سوپر آلیاژ نامگذاری شد. این سیستم نامگذاری برای فلزات و آلیاژهایی که بصورت تجاری تولید شده اند، معرفی شده است. بطور کلی مهمترین دلایل ایجاد این سیستم نامگذاری عبارت است از:

۱- این سیستم بمنظور استفاده کاربران جهت ارتباط دادن گستره وسیعی از سیستم‌های نامگذاری طراحی شده است.

۲- این سیستم یک شناسنامه نیست، بلکه کمکی است برای اینکه مشخص کند یک نامگذاری متحد برای چه محدوده‌های کنترل شده‌ای از شناسنامه‌ها را در بر می‌گیرد. این سیستم که شامل ۱۸ گروه است، هر کدام از ۵ عدد و یک حرف تشکیل شده است. جدول شماره (۱-۱) گروه‌های ۱۸ گانه آلیاژها را نشان می‌دهد.

در این کتاب سعی شده است استانداردهای نامگذاری آلیاژهای مهم صنعتی در بعضی از کشورهای صنعتی جهان جمع‌آوری شود و بر اساس استاندارد (استاندارد UNS) مورد تطبیق قرار گیرد. به این ترتیب ابتدا نحوه نامگذاری و تاثیر عناصر آلیاژی در آلیاژهای آلومینیم، مس، منیزیم، نیکل و تیتانیم مورد بررسی قرار گرفته است. سپس در بخش ضمیمه تطابق استاندارد‌های آلیاژهای مذکور بر اساس سیستم UNS به‌مراه خواص مکانیکی، شیمیایی، و فیزیکی آنها آورده شده است.

1 - American Society of Testing Materials

2 - Society of Automotive Engineers

جدول شماره (۱-۱) : معرفی گروه‌های فلزی در سیستم (UNS)

خانواده فلزات	حرف	ردیف
آلیاژهای آلومینیوم	A	۱
آلیاژهای مس	C	۲
فولاد هایی با خصوصیات مکانیکی مشخص	D	۳
عناصر خاکی کمیاب	E	۴
چدن ها و فولاد ها	F	۵
فولادهای نامگذاری شده در SAE,AISI	G , H , J , K	۶,۷,۸,۹
آلیاژ هایی با نقطه ذوب پایین	L	۱۰
آلیاژ های متفرقه	M	۱۱
آلیاژ های نیکل	N	۱۲
فلزات و آلیاژ های دقیق	P	۱۳
فلزات و آلیاژ های نسوز و فعال	R	۱۴
فولاد های مقاوم به حرارت و زنگ نزن	S	۱۵
فولاد های ابزار و فولاد های H که در AISI نامگذاری شده اند	T	۱۶
مواد پر کننده جوش	W	۱۷
آلیاژ های روی	Z	۱۸

یکی از مواردی که در این بخش به آن اشاره شده است، معرفی مشخصه های منتشر شده توسط مؤسسات مختلف برای هر آلیاژ است. در نهایت استاندارد های کشور های مختلف به ترتیب حروف الفبا مرتب و معادل UNS آن بیان شده است. به این ترتیب با در دست داشتن یک نام در یکی از کشورهای آلمان، فرانسه، انگلستان، آمریکا، ژاپن و اروپا براحتی می توان معادل استاندارد مربوطه را پیدا نمود. به این ترتیب می توان از خصوصیات شیمیایی، مکانیکی، شرایط تولید، شکل محصولات و نام و مشخصات آلیاژ فوق در کشورهای مختلف آگاهی یافت.





## فصل دوم

# آلومینیم و آلیاژهای آن

### مقدمه

جایگاه آلیاژهای آلومینیم در بازارهای جهانی پس از آهن و فولاد در ردیف دوم قرار دارد. توسعه سریع صنعت آلومینیم مربوط به خواص منحصر به فردی از این آلیاژ است که موجب شده است آنرا در ردیف یکی از بهترین مواد مهندسی قرار دهد. بالا بودن نسبت استحکام به وزن، هدایت الکتریکی و گرمایی زیاد و انعکاس نور از جمله خواص این آلیاژها می باشد. آلومینیم در اغلب شرایط مقاومت به خوردگی زیادی دارد و فلزی غیر سمی است.

این آلیاژ در شکل ها و فرم های مختلفی از قبیل قطعات ریخته گری<sup>۱</sup> ورق<sup>۲</sup> تختال<sup>۳</sup> گرد<sup>۴</sup> سیم<sup>۵</sup> قطعات اکستروود شده<sup>۶</sup> قطعات نورد شده<sup>۷</sup> قطعات کشیده شده<sup>۸</sup> قطعات آهنگری شده<sup>۹</sup> و ناودانی ها تولید و استفاده می شوند. لذا با توجه به موارد فوق به نظر می رسد که آلیاژهای آلومینیم در بین مواد مهندسی از اهمیت خاصی برخوردار باشد.

## ۲-۱- تقسیم بندی آلیاژهای آلومینیم

آلیاژهای آلومینیم به طور کلی به دو گروه آلیاژهای کار شده<sup>۱۰</sup> و آلیاژهای ریخته گری تقسیم بندی می شوند. آلیاژهای کار شده از طریق تغییر شکل پلاستیکی

- 
- 1- Casting
  - 2 -Sheet
  - 3 -plate
  - 4 -Bar
  - 5 -Wire
  - 6 -Extruded
  - 7 -Rolled
  - 8 -Drawed
  - 9 -Forged
  - 10- Worugh Alloys

( کار گرم و سرد ) تولید می شوند که ترکیب شیمیایی و ریز ساختار کاملاً متفاوتی با آلیاژهای ریخته گری شده دارند. هر یک از این دو گروه می تواند به دو زیر گروه : آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر و غیر عملیات حرارتی پذیر تقسیم شوند.

## ۲-۲ - نامگذاری آلیاژهای آلومینیم

### ۲-۲-۱- آلیاژهای آلومینیم کار شده در سیستم آمریکایی

در این سیستم یک آلیاژ با چهار عدد مشخص می شود. این سیستم در سال ۱۹۷۰ به منظور نامگذاری محصولات کار پذیر توسط جامعه آلومینیم ایالات متحده آمریکا (IADS) تاسیس گردید.

- جدول (۲-۱) نحوه نامگذاری آلیاژهای آلومینیم کار شده را مشخص می کند.
- این نامگذاری بر اساس مهم ترین عنصر آلیاژی صورت پذیرفته است.
- رقم اول از سمت چپ عنصر آلیاژی عمده برای هر گروه را مشخص می کند.
  - رقم دوم از سمت چپ درجه کنترل ناخالصی را بیان می کند.
  - اگر رقم دوم صفر باشد، به این معناست که هیچ گونه کنترلی روی ناخالصی ها صورت نگرفته است.
  - اگر رقم دوم اعداد بین ۱ تا ۹ باشد بیانگر کنترلی خاص است که روی ناخالصی مشخص، انجام شده است.
  - دو رقم بعدی یعنی رقم های سوم و چهارم از سمت چپ، در گروه ۱XXX دارای اهمیت بیشتری است ، ولی در گروه های ۲XXX تا ۸XXX مفهوم خاصی ندارد. صرفاً به مانند یک شماره سریال عمل می کنند. در گروه آلیاژی ۱XXX حداقل خلوص آلومینیم به وسیله دو رقم آخر مشخص می شود. مثلاً آلیاژ ۱۱۴۵ دارای حداقل خلوص ۹۹/۴۵ درصد است و آلیاژ ۱۲۰۰ دارای حداقل خلوص ۹۹/۰۰ درصد است.

جدول (۲-۱) : سیستم علامت گذاری بین المللی بر آلیاژ های آلومینیم کار شده

شماره سری	عناصر آلیاژی غالب	قابلیت پیر سختی
1XXX	خالص تجاری ( بیش از ۹۹٪ Al)	غیر قابل پیر سختی
2XXX	Al- Cu- Li .Al-Cu	قابل پیر سختی
3XXX	Al-Mn	غیر قابل پیر سختی
4XXX	Al-Si,Al-Mg-Si	قابل پیر سختی با حضور منیزیم
5XXX	Al-Mg	غیر قابل پیر سختی
6XXX	Al-Mg-Si	قابل پیر سختی
7XXX	Al-Mg-Zn	قابل پیر سختی
8XXX	Al-Li,Sn,Zr,B,Fe,Cr	اکثر آنها قابل پیر سختی
9XXX	سربهایی که به کار نرفته اند	—

## ۲-۲-۲- علائم عملیات حرارتی و حالات سختی در سیستم آمریکایی

باز پخت آلیاژ های آلومینیم عموماً به سه روش انجام می شود که شامل کار سرد، عملیات حرارتی و یا ترکیبی از این دو می باشند. برای مشخص کردن یک خصوصیت مکانیکی و چگونگی حصول آن، از یک سیستم اصطلاحات استفاده می شود. در این سیستم علاوه بر اعداد از یک سری پسوندهای حروفی دیگر نیز استفاده می گردد که به صورت جدول (۲-۲) تعریف می شوند. حروف پسوند W,F,O,H,T و نشان دهنده شرایط یا عملیات حرارتی اصلی هستند.

- اولین رقم پسوند نشان دهنده دومین عملیات مورد استفاده، برای تغییر خواص است.

- دومین رقم پسوند برای حالت H نشان دهنده سختی پسماند و برای حالت T موقعی بکار میرود که محصولات کار شده توسط مصرف کننده عملیات حرارتی شده باشد. بعنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره نمود:

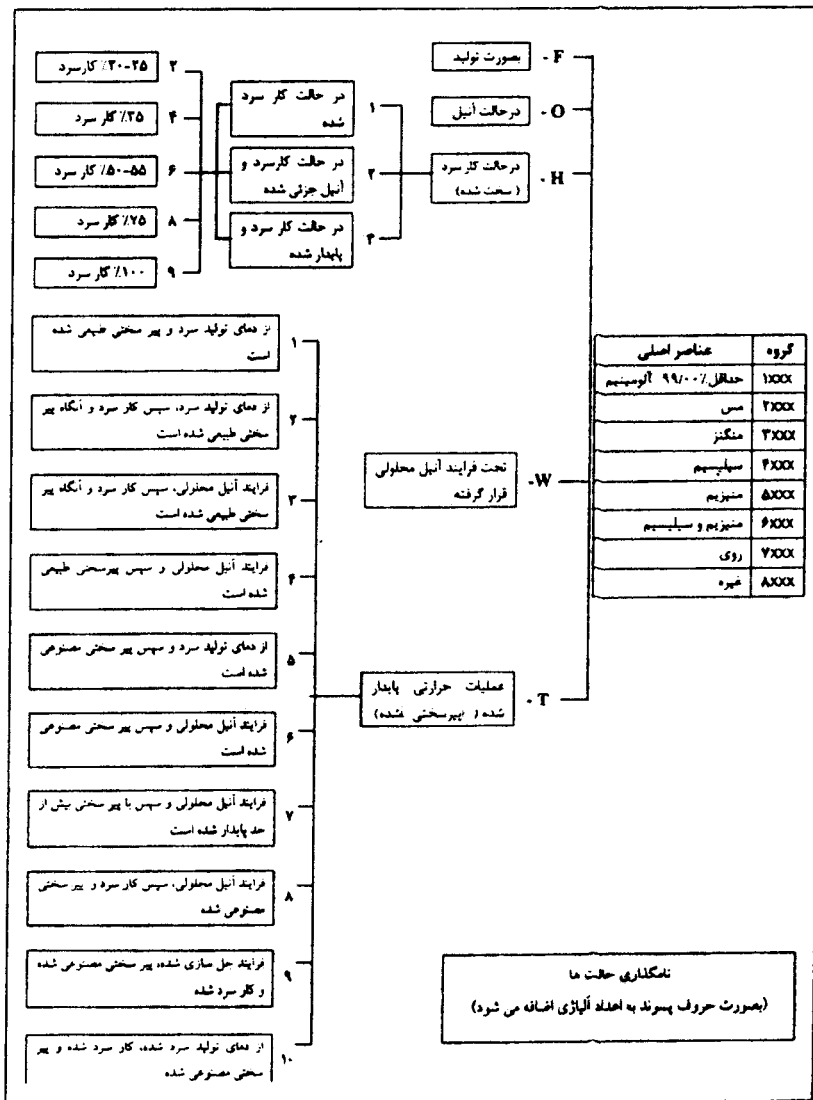
T42: انحلال صورت پذیرفته، آنگاه سریع سرد شده و سپس به صورت طبیعی پیر شده است.

T62: انحلال صورت پذیرفته، آنگاه سریع سرد شده و سپس به صورت مصنوعی پیر شده است.

نامگذاری برای حالت H با سه رقم پسوند بیان می شود که مخصوص محصولات کار شده می باشد. این نامگذاری در جدول (۲-۳) آمده است.

در مورد حالت تنش زدائی شده آلیاژهای آلومینیم کارپذیر نیز از نامگذاری های متعدد دیگری که دارای رقم های اضافی هستند استفاده می شود. این نام گذاری ها در جدول (۲-۴) بیان شده است.

جدول (۲-۲): سیستم نامگذاری آلیاژهای آلومینیم در آمریکا (استاندارد AA)



## جدول (۲-۳): نامگذاری حالت H سه رقمی برای آلیاژهای آلومینیم کار شده

نماد	توضیحات
H111	محصولاتی که به مقادیری کمتر از مقدار لازم برای حصول حالت کنترل شده H11 کرنش سختی شده اند.
H112	محصولاتی که به مقادیری کمتر از مقدار حاصل از فرایند شکل دادن کرنش سختی شده اند. <sup>۱</sup>
H121	محصولاتی که به مقادیری کمتر از مقدار لازم برای حالت کنترل شده H12 کرنش سختی شده اند.
H311	محصولاتی که به مقادیری کمتر از مقدار لازم برای حالت کنترل شد H31 کرنش سختی شده اند.
H321	محصولاتی که به مقادیری کمتر از مقدار لازم برای حالت کنترل شده H32 کرنش سختی شده اند.
H323 H343	برای محصولات کار شده بیش از ۴٪ منیزیم و محصولاتی که برای حصول مقاومت مناسب در مقابل ترک خوردن ناشی از خوردگی تنش، به صورت خاص ساخته شده اند.

## جدول (۲-۴): حالات تنش زدایی شده آلیاژهای آلومینیم کار پذیر

نماد	توضیحات
TX51	محصولات تنش زدایی شده از طریق کشش <sup>۱</sup>
TX510	محصولاتی که پس از کشش نیاز به صاف کردن بیشتری ندارند <sup>۲</sup>
TX511	محصولاتی که پس از کشش نیاز به صاف کردن جزئی دارند تا با خطای مجاز استاندارد بدون هماهنگی داشته باشد
TX52	محصولاتی که تنش زدایی شده از طریق فشردن <sup>۱</sup>
TX52	تنش زدایی شده به وسیله عملیات حرارتی <sup>۳</sup>

- ۱- در این حالت هیچ گونه کنترل خاصی بر روی مقدار کرنش سختی یا عملیات حرارتی اعمال نمی شود. ولی محدودیت خواص مکانیکی، وجود داشته و آزمایش خواص مکانیکی انجام می شود.
- ۲- در مورد محصولاتی که پس از کار می رود که پس از سریع سرد کردن، حدود ۰/۵ تا ۳ درصد برای صفحه ۱ و ۳ تا ۲ درصد برای میله و ناودانی از طریق کشش احتیاج به تاب گیری دارند.
- ۳- منظور از محصولات در **TX510** و **TX511** یعنی میله، مقاطع و لوله می باشد.
- ۴- در مورد محصولاتی که پس از سریع سرد شدن از طریق اعمال نیروهای فشاری برای ایجاد کرنش دائمی، به مقدار ۲/۵ درصد تنش زدایی می شوند، به کار می رود.
- ۵- در نامگذاری های فوق حرف **X** نشان دهنده ارقام ۳، ۴، ۶ و ۸ است.

## ۲-۳- آلیاژهای ریختگی آلومینیم

برای مشخص کردن آلیاژهای ریختگی آلومینیم، هیچگونه علائم پذیرفته شده بین المللی به کار گرفته نشده است. با این حال مؤسسه آلومینیم ایالت متحده دارای یک سیستم تجدید نظر شده مشابه سیستم مورد استفاده برای آلیاژهای کارپذیر می باشد.

## ۲-۳- نامگذاری دراستاندارد آمریکایی (AA)

در این سیستم از چهار رقم جهت مشخص کردن شمش و قطعات ریختگی آلومینیم و آلیاژهای آن استفاده می شود. در جدول (۲-۸) نامگذاری آلیاژهای آلومینیم بر اساس عناصر اصلی آن نشان داده شده است.

جدول ( ۲-۶ ) : نامگذاری آلیاژهای ریختگی آلومینیم در سیستم آمریکایی

نامگذاری قبلی	نامگذاری جاری	عناصر آلیاژی غالب
—	1XX.X	آلومینیم ۹۹٪ یا خالص تر
1XX	2XX.X	مس (Cu)
3XX	3XX.X	سیلیسیم همراه بامس یا منیزیم اضافه شده (Si, Mg)
99-1	4XX.X	سیلیسیم (Si)
2XX	5XX.X	منیزیم (Mg)
—	6XX.X	گروه های استفاده نشده
6XX	7XX.X	روی (Zn)
7XX	8XX.X	قلع (Sn)
—	9XX.X	سایر عناصر

- در گروه ۱XX.X رقمهای دوم و سوم از سمت چپ نشان دهنده حداقل درصد آلومینیم است. بعنوان مثال آلیاژ 150.X نشان دهنده ترکیبی حاوی حداقل 99.50 درصد آلومینیم است.

- رقم آخر که پس از اعشار قرار دارد، نشان دهنده شکل محصول است که با کد صفر یا یک مشخص می شود.
  - کد صفر برای قطعات ریختگی است
  - کد یک برای شمش است
- در گروه های آلیاژی ۲XXX تا ۹XXX رقمهای دوم و سوم به تنهایی اهمیتی ندارند و به عنوان عددی به کار می روند که نشان دهنده آلیاژهای مختلف در آن گروه ها می باشد. در این گروه آخرین رقم مشخص کننده شکل محصول است.
- در استرالیا تغییری بر روی این گروه بندی انجام شده است که در آن گروه ۶XXX برای آلیاژهای AL-Si-Mg در نظر گرفته شده است. وقتی که تغییری بر روی آلیاژهای اصلی و یا حدود ناخالصی ها انجام می گیرد، یک حرف به ابتدای اعداد اضافه می شود. این حروف به ترتیب حروف الفبا از A شروع می شوند ولی حروف X, Q, O, I در آن کاربرد ندارند.

## ۲-۴- تأثیر عناصر آلیاژی بر روی خواص آلیاژهای آلومینیم

### منیزیم (Mg)

در آلیاژ Al-Mn که دارای حدود ۰/۶ درصد آهن و ۰/۲ درصد سیلیسیم می باشد با افزودن ۱ درصد منیزیم استحکام از طریق محلول جامد از ۱۱۰ MPa به ۱۸۰ MPa برای آلیاژ ۳۰۰۳ در حالت آنیل افزایش می یابد. افزودن Mg به Al در مقادیر کمتر از ۷ درصد تا حدودی از طریق رسوب سختی و به طور قابل توجه از طریق تشکیل محلول جامد باعث افزایش استحکام می شود. وقتی مقدار منیزیم در آلیاژهای Al-Mn از ۳/۵ درصد تجاوز کند رسوب  $Mg_2Al_3$  می تواند با عملیات حرارتی در دمای پایین یا آرام سرد کردن آلیاژ از دماهای بالا تشکیل شود که خواص کشش را بهبود می بخشد. استحکام این آلیاژها از ۱۲۵ MPa برای آلیاژ ۵۰۰۵ و تا ۳۱۰ MPa برای آلیاژ ۵۴۵۶ در حالت آنیل بر اساس مقدار عناصر آلیاژی تغییر می کند.

افزودن منیزیم به آلیاژ Al-Cu به میزان ۰/۵ تا ۱/۵ درصد از طریق تشکیل فاز  $Al_2CuMg$  و فرایند پیرسازی باعث افزایش استحکام می شود. افزودن ۰/۶ تا ۱/۲



درصد منیزیم به همراه ۰/۴ تا ۱/۳ درصد سیلیسیم به آلومینیوم باعث تشکیل فاز سخت  $Mg_2Si$  می‌گردد. در نتیجه می‌توان از طریق عملیات پیر سختی استحکام آلومینیوم را افزایش داد. استحکام این آلیاژها در شرایط T6 بین ۳۱۰ MPa تا ۴۰۰ MPa می‌باشد. افزودن ۱ تا ۳ درصد وزنی منیزیم در آلیاژ Al-Zn قابلیت عملیات گرمایی را در این گروه ایجاد می‌کند و در اثر تشکیل رسوبهای سخت  $MgZn_2$  هنگام عملیات پیرسازی، خواص کشش این گروه افزایش می‌یابد بطوری که استحکام این گروه تا ۶۸۰ MPa برای آلیاژ ۷۰/۰۱ (البته با حضور ۲ درصد مس) افزایش می‌یابد. اضافه کردن حدود ۰/۳۵ درصد منیزیم به آلیاژهای ریختگی Al-Si باعث افزایش استحکام از طریق رسوب سختی فاز  $Mg_2Si$  می‌شود. بعنوان مثال استحکام تسلیم این آلیاژ در حالت T6 بیش از دو برابر آن در آلیاژ دوتایی حاوی مقادیر مشابه سیلیسیم است.

افزودن ۱۰ درصد منیزیم به آلومینیوم ریختگی باعث حساسیت آن به عملیات حرارتی می‌شود که میتواند در حالت T4 مجموعه‌ای از استحکام بالا و انعطاف پذیری و مقاومت ضربه خوبی را از خود نشان دهد. برای پرهیز از تنشهای باقی مانده باید این آلیاژ را به آهستگی سرد کرد. همچنین این آلیاژ در شرایط گرمسیری ناپایدار بوده، که منجر به تشکیل رسوب  $Mg_5Al_8$  در مرزخانه‌ها می‌شود. در نتیجه باعث کاهش انعطاف پذیری و ایجاد خوردگی تنشی می‌گردد. افزودن منیزیم به آلیاژ Al-Li باعث مقاوم شدن محلول جامد می‌شود ولی باید توجه داشت که در آلیاژهای حاوی بیش از ۲ درصد منیزیم که در دمای نسبتاً بالا پیر شده باشند یک نوع فاز مکعبی غیر همبسته  $Al_2LiMg$  تشکیل می‌شود که بار رسوب در مرزخانه‌ها انعطاف پذیری را کاهش می‌دهد.

آلیاژهای Al-Mg خاصیت جوشکاری و شکل پذیری خوب و مقاومت زیاد به خوردگی دارند. در این آلیاژها وقتی جوشکاری قوسی با آرگون انجام می‌شود، آلیاژهایی که استحکام بیشتری دارند جوش پذیری مطلوبی از خود نشان می‌دهند.

آلیاژ Al-Si-Mg دارای مقاومت به خوردگی عالی در تمام محیطهای طبیعی و در اغلب شرایط مصنوعی می باشند.

آلیاژهای ریختگی Al-Mg دارای مقاومت به خوردگی بالا، قابلیت ماشینکاری خوب و ظاهر جذاب پس از آبکاری می باشند. در برخی آلیاژهای Al-Mg که امکان تشکیل  $Mg_5Al_8$  وجود دارد احتمال خوردگی بین دانه ای شدیدی وجود خواهد داشت زیرا این فاز شدیداً آندی است و در مرز دانه ها رسوب می کند.

در آلیاژهای Al-Si-Mg وقتی منیزیم و سیلیسیم با نسبت دو به یک وجود داشته باشند فاز  $Mg_2Si$  تشکیل می شود که دارای پتانسیل الکترودی مشابه آلومینیم است لذا مقاومت به خوردگی این آلیاژها عالی می باشند.

### سیلیسیم (Si)

چنانچه در آلیاژهای Al-Si-Mg مقادیر منیزیم و سیلیسیم بین ۰/۸ تا ۱/۲ درصد باشد این آلیاژها را میتوان به آسانی اکستروود کرد و علاوه بر آن این آلیاژها دارای این مزیت نیز هستند که میتوان محصول داغ خروجی از غالب پرس اکستروژن را سریع سرد نمود و در نتیجه عملیات حرارتی انحلالی جداگانه مورد نیاز نیست. این آلیاژها استحکام متوسطی دارند که از طریق رسوب سختی فاز  $Mg_2Si$  حاصل میشود. بعنوان مثال برای آلیاژ ۶۰۶۳ در حالت تمپر T6 استحکام کششی معادل ۲۴۵ MPa است. دسته دیگری از آلیاژهای Al-Si-Mg حاوی منیزیم و سیلیسیم به مقدار بیش از ۱/۴ درصد هستند. این آلیاژها در اثر پیرشدن استحکام بالایی بدست می آورند زیرا به سریع سرد شدن حساستر بوده و اغلب لازم است آنها را پس از اکستروود کردن بعنوان یک فرایند جداگانه عملیات حرارتی انحلالی و سریع سرد نمود. دسته دیگری از آلیاژهای Al-Si-Mg هستند که حاوی سیلیسیم به میزان بیش از مقدار لازم برای تشکیل  $Mg_2Si$  هستند. وجود این مقدار سیلیسیم اضافی، از طریق ریز کردن اندازه ذرات  $Mg_2Si$  و رسوب کردن سیلیسیم به پیر سختی بیشتر کمک می کند. البته افزایش سیلیسیم ممکن است انعطاف پذیری را نیز کاهش دهد زیرا سیلیسیم تمایل دارد که درمرز دانه ها تجمع کند.

افزودن ۰/۲ درصد سیلیسیم به آلیاژهای Al-Cu-Mg هم سختی ناشی از مرحله اول پیرشدن (مناطق Gp) را افزایش می دهد و هم به تشکیل و توزیع یکنواخت تر فاز  $Al_2CuMg$  کمک میکند که باعث بهبود خواص کشش می شود. هر دو این تغییرات باعث بهبود خواص خزشی آلیاژ در دمای  $150^{\circ}C - 120^{\circ}C$  به مدت طولانی می گردد. در آلیاژ ۲۰۱۴ با افزایش مقدار سیلیسیم عکس العمل آلیاژ در مقابل پیرشدن مصنوعی شدت می یابد و استحکامهای بالاتری حاصل می شود اما در آلیاژ ۲۰۲۴ مقدار سیلیسیم موجود به حد ناخالص کاهش داده میشود که علت آن تشکیل ترکیبات درشت و شکننده در مواد ریختگی است. این ترکیبات چقرمگی شکست و انعطاف پذیری را کاهش می دهند.

گروهی از آلیاژها که بر پایه سیستم Al-Si هستند استحکام خستگی بالاتری نسبت به آلیاژهای Al-Sn از خود نشان می دهند که در تعدادی از موتورهای دیزلی با سرعت خیلی بالا مورد استفاده قرار می گیرند.

آلیاژ Al-Si مهمترین آلیاژهای ریختگی آلومینیوم محسوب می شود. مزایای دیگر این نوع آلیاژها مقاومت خوردگی بالا و جوش پذیری خوب است و سیلیسیم ضریب انبساط حرارتی را کاهش می دهد. در هر حال بعلت وجود ذرات سخت سیلیسیم در ریز ساختار، ماشینکاری این آلیاژها مشکل است. انجماد آهسته یک آلیاژ Al-Si خالص موجب ریز شدن دانه بندی می شود در نتیجه انعطاف پذیری کاهش می یابد اما سریع سرد کردن آلیاژ که در خلال ریخته گری در قالب دائمی اتفاق می افتد، باعث می شود دانه بندی بشدت ریز شده و فاز سیلیسیم به شکل الیاف در آید. در نتیجه انعطاف پذیری و استحکام کششی به مقدار بسیار زیادی بهبود می یابد.

وقتی که آلیاژهای ریختگی آلومینیوم حاوی مقادیر قابل توجه سیلیسیم در دمای بالا قرار گیرند اثر رسوب سیلیسیم از محلول جامد، رشد ابعادی در آنها اتفاق می افتد. لذا بایستی برای قطعات ریختگی که در دمای  $150^{\circ}C$  یا بالاتر مورد مصرف قرار می گیرند شرایط T5 یا T7 را در قطعه ایجاد کرد.

آلیاژهای دوتایی Al-Si عملیات حرارتی پذیر نیستند زیرا فقط مقدار کمی سیلیسیم در آلومینیوم محلول می باشد (حد اکثر ۱/۶۵ درصد) و سیلیسیمی که از

محلول جامد رسوب می کند فقط کمی سختی را افزایش می دهد. قابلیت ریخته گری آلیاژهای Al-Si-Mg از طریق افزودن سیلیسیم به میزان حداقل ۷ درصد افزایش می یابد.

### مس (Cu)

مس بطور کلی یکی از مهمترین عناصر آلیاژی برای آلومینیم است زیرا استحکام قابل توجهی بر اثر تشکیل محلول جامد به وجود می آورد و با عملیات مناسب و تشکیل رسوب می تواند استحکام را به مقدار زیادی افزایش دهد.

مس در آلیاژ ۲۶۱۸ که دارای استحکام خزشی بالایی است استحکام کششی را از طریق پیر سختی افزایش می دهد. آلیاژهای Al-Mg-Si معمولاً در دمای حدود  $170^{\circ}\text{C}$  پیر می شوند. در خلال فرآوری تجاری احتمال دارد تاخیری در دمای محیط بین کوئنچ شدن و پیر شدن مصنوعی پیش آید که ممکن است خواص مکانیکی را تا ۱۰ درصد کاهش دهد. افزودن ۰/۲۵ درصد مس باعث کاهش اثر تأخیر در دما می شود زیرا مس سرعت پیر شدن طبیعی در این آلیاژها را کاهش می دهد.

وجود ۲/۵ درصد مس در آلیاژهای Al-Mg-Zn باعث می شود که در اثر پیرکردن در دمای بالاتر از  $170^{\circ}\text{C}$  -  $160^{\circ}\text{C}$  فاز  $\eta$  تشکیل شود. این فاز موجبات افزایش قابل توجه در مقابل ترک ناشی از خوردگی تنشی را فراهم می آورد.

در آلیاژهای Al-Li-Cu-Mg فاز  $S(\text{Al}_2\text{CuMg})$  ترجیحاً بر روی خطوط نابجایی جوانه زنی می کند و اگر آلیاژهای مربوطه قبل از پیر شدن از طریق مثلاً کشیده شدن کار سرد شوند توزیع یکنواخت تری قابل حصول است افزودن مس و منیزیم به نسبت ۲/۶ به ۱ باعث به حداکثر رساندن رسوبهای S می شود.

در آلیاژهای گروه ۲xxx می توان استحکام را از طریق پیرسختی افزایش داد. آلیاژ ۲۲۱۹ که دارای ۶/۳ درصد مس می باشد دارای محدوده وسیعی از استحکام (حدود ۱۷۵ MPa تا ۴۷۵ MPa) است این میزان استحکام در اثر اعمال عملیات حرارتی های مختلف حاصل می گردد.

در حالت T87 میتوان با کرنش سختی پس از عملیات انحلالی و قبل از پیرشدن مصنوعی، رسوب بیشتری ایجاد کرد. در نتیجه استحکام آلیاژ ۲۲۱۹

تا  $475\text{MPa}$  افزایش می یابد. در این دسته از آلیاژها از جمله رسوبهایی که در اثر پیرسختی بوجود آمده و باعث افزایش استحکام می شوند می توان رسوب  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  را نام برد.

افزایش ۱ تا ۲ درصد وزنی مس استحکام آلیاژهای  $\text{Al-Zn-Mg}$  را افزایش می دهد و آلیاژهای پر استحکام صنایع هوایی را بوجود می آورد. در آلیاژهای  $\text{Al-Zn-Mg-Cu}$  افزودن مس تا ۲ درصد در مناطق  $\text{Gp}$  پایداری را افزایش می دهد و باعث می شود که در مقایسه با آلیاژهای  $\text{Al-Zn-Mg}$  این مناطق در دماهای بالاتر وجود داشته باشند. مس تشکیل محلول جامد را تقویت می کند و موجب تشکیل بیشتر رسوب و استحکام بیشتر می شود.

حضور مس در آلیاژهای  $\text{Al-Mg-Si}$  نیز از طریق تشکیل محلول جامد و تسهیل تشکیل رسوب باعث افزایش استحکام میشود اما اگر مقدار آن از ۰/۵ درصد تجاوز کند مقاومت به خوردگی را کاهش می دهد.

### منگنز (Mn)

افزودن حدود ۱/۲ درصد منگنز به آلومینیوم خالص تجاری ( ۰/۶ درصد  $\text{Fe}$  و ۰/۲ درصد  $\text{Si}$  ) آلیاژی با استحکام متوسط و عملیات حرارتی ناپذیر ایجاد می کند. افزایش منگنز به آلومینیوم از طریق تشکیل محلول جامد و همچنین توزیع یکنواخت رسوبهای نامحلول استحکام آن را افزایش میدهد.

بررسی ریز ساختار آلیاژ ۳۰۰۳ پس از پیش گرم کردن در  $593^\circ\text{C}$  کار سرد ۸۰ درصد و تابکاری در دمای  $340^\circ\text{C}$  مبین آن است که هنگام تابکاری رسوبهای غنی از منگنز  $\text{Al-Fe-Mn-Si}$  و  $\text{Al}_6\text{MnFe}$  معمولاً در نابعیهای کار سرد جوانه می زنند. این رسوبها نابعیها را قفل و از حرکت آنها جلوگیری می کند و به دنبال آن مرزهای فرعی کم زاویه چند ضلعی تشکیل می شود. در نتیجه رسوبها از تبلور مجدد جلوگیری کرده و دمای تبلور مجدد آلیاژ را افزایش می دهند که موجب افزایش استحکام این آلیاژ میشود.

وجود منگنز در اغلب آلیاژهای آلومینیم دمای تبلور مجدد را افزایش می دهد در نتیجه استحکام آنها در دمای بالا حفظ می شود. منگنز و منیزیم دو عنصر اصلی آلیاژهای غیر قابل عملیات حرارتی را تشکیل می دهند. استحکام این آلیاژها از طریق کرنش سختی و معمولاً به صورت کار سرد در حین شکل دادن به قطعه و یا بواسطه محلولهای جامد Al-Mg-Mn حاصل می شود.

منگنز بر مبنای اتمی به مقدار حد اکثر ۰/۵ درصد بیشترین افزایش استحکام را بصورت محلول جامد نشان می دهد. منگنز در حین پیش گرم کردن شمشها و فرایندهای گرمکاری بصورت ذرات پراکنده رسوب می کند و باعث سختی پراکندگی میشود. تنها ۰/۲ تا ۰/۳ درصد آن تمایل به باقی ماندن در محلول را دارد. منگنز در آلومینیم تشکیل  $MnAl_6$  می دهد که قابلیت حل کردن آهن را دارد در نتیجه تأثیر منفی این عنصر را کاهش می دهد زیرا آهن با تشکیل فاز  $Fe_3Al$  نقاطی را ایجاد میکند که لایه های اکسید سطحی بر روی آن ضعیف می باشد. بنابراین به خوردگی الکتروشیمیایی کمک میکند ولی باید توجه داشت علیرغم حلالیت ۱/۸۲ درصدی منگنز در آلومینیم، آلیاژهای تجاری Al-Mn حاوی حداکثر ۱/۲۵ درصد منگنز هستند. علت این محدودیت حضور آهن بعنوان عنصر ناخالص می باشد که باعث کاهش حلالیت شده و این خطر وجود دارد که ذرات درشت اولیه  $MnAl_6$  تشکیل شود که بر روی انعطاف پذیری موضعی تأثیر بسیار نا مطلوبی می گذارد.

### آهن (Fe)

آهن میتواند به آلیاژهایی از آلومینیم که حاوی مس و نیکل است به منظور افزایش قابلیت آهنگری گرم تا حد اکثر ۱/۳ درصد افزوده شود. در برخی آلیاژهای گروه ۲XXX مانند ۲۶۱۸ آهن به همراه نیکل ترکیبات بین فلزی و  $FeNiAl$  تولید می کند که باعث سختی پراکندگی می گردد و به پایداری ریز ساختار کمک می کند افزودن آهن به میزان کمتر از یک درصد در آلیاژهای گروه ۸XXX خواص مختلفی ایجاد میکند. بعنوان مثال آلیاژ ۸۰۰۱ (۱.۱%Ni-0.6%Fe) در تأسیسات انرژی هسته ای مقاومت خوردگی بالایی را در برابر آب در دما و فشار زیاد ایجاد میکند آلیاژ ۸۰۱۱ به دلیل کیفیت کشش عمیق خوب برای ساخت درب بطری بکار می رود.